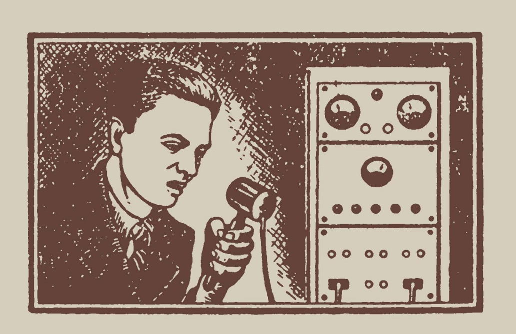
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

А. Ф. ПЛОНСКИЙ

# ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ РАДИОСВЯЗЬ НА МЕТРОВЫХ ВОЛНАХ



Госэнергоиздат

## ДАНЫЕ АНТЕНН, РАССЧИТАННЫХ НА ЛЮБИТЕЛЬСКИЙ УЛЬТРАКОРОТКОВОЛНОВЫЙ ДИАПАЗОН

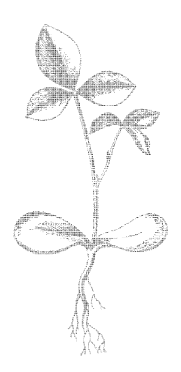
| Тип антенны | Размеры, мм | Упрощенная хактеристика направленности | Входное сопротивление, ом |
|---|---|---|---|
| Вибратор | 1690; 25 | | 70 |
| Вибратор с рефлектором | 1750; 1690; 25; 875 | | 60 |
| Петлевой вибратор | 1690; 25 | | 300 |
| Петлевой вибратор с рефлектором | 1750; 1690; 25; 525 | | 70 |
| Вибратор с рефлектором и директором | 1750; 1690; 25; 1625; 875; 350 | | 30 |
| Петлевой вибратор с рефлектором и директором | 1750; 1690; 25; 1625; 875; 350 | | 100 |

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА
*ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА*

*Выпуск 174*

*А. Ф. ПЛОНСКИЙ*

# *ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ РАДИОСВЯЗЬ НА МЕТРОВЫХ ВОЛНАХ*








ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1953 ЛЕНИНГРАД

*Книга рассчитана на радиолюбителей, интересующихся ультракороткими волнами и достаточно знакомых с основами общей радиотехники. В ней рассматриваются свойства ультракоротких волн, особенности их распространения, а также вопросы, касающиеся выбора схем, конструирования и налаживания любительской ультракоротковолновой аппаратуры.*

---

Редактор *К. А. Шульгин* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 7/X 1952 г. Подписано к печати 28/I 1953 г.
Бумага $84\times108^1/_{32}=1^3/_8$ бумажн. лист. 4,51 п. л. Уч.-изд. л. 5
Т-00237 Тираж 15 000 Заказ 3353
Цена 2 руб. (номинал по прейскуранту 1952 г.)

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

# ВВЕДЕНИЕ

Спектр частот электромагнитных колебаний, используемых в радиотехнике, чрезвычайно широк и простирается от нескольких десятков килогерц до сотен и даже тысяч мегагерц. Он условно разбит на диапазоны длинных, промежуточных, средних, коротких и ультракоротких волн. Длинноволновый диапазон охватывает волны длиннее 3 000 *м*, диапазоны средних и промежуточных волн занимают полосу от 3 000 до 50 *м*, коротковолновый диапазон простирается от 50 до 10 *м* и, наконец, ультракоротковолновый охватывает волны короче 10 *м*. По ширине спектра занимаемых частот ультракоротковолновый диапазон превосходит все остальные диапазоны, вместе взятые. Поэтому он, в свою очередь, разбивается на поддиапазоны метровых, дециметровых и сантиметровых волн.

Различные диапазоны и поддиапазоны спектра радиочастот обладают неодинаковыми, часто совершенно противоположными, но вполне закономерными свойствами. Поскольку подразделение частотного спектра на диапазоны условно и жестких границ между ними не существует, смежные частоты соседних диапазонов нередко оказываются более близкими по своим свойствам, чем крайние (граничные) частоты одного и того же диапазона.

По целому ряду причин техника ультравысоких частот резко отличается от техники радиочастот других диапазонов, хотя принципиального различия между ними нет. Это отличие обусловлено тем обстоятельством, что на ультравысоких частотах проявляются многие факторы, которые на более низких радиочастотах не оказывают ощутимого влияния на работу аппаратуры и, оставаясь незамеченными, не принимаются во внимание при расчетах.

Приоритет в развитии техники ультравысоких частот принадлежит отечественной науке. В диапазоне метровых волн работали передатчики А. С. Попова, который не только изобрел радио, но и наметил многие пути его развития.

Рождение техники ультравысоких частот как самостоятельной отрасли радиотехники относят к 1922 г. В этом году на страницах журнала «Телеграфия и телефония без проводов» был опубликован цикл статей, посвященных вопросам генерирования ультравысоких частот. Первые исследования в этой области принадлежат М. А. Бонч-Бруевичу и его сотрудникам по Нижегородской радиолаборатории. Ими были получены колебания с длиной волны порядка 1,5 *м*. В том же 1922 году была осуществлена радиотелеграфная связь на волне 3,8 *м*, причем прием производился на кристаллический детектор. К 1924 г. относится работа С. Я. Турлыгина, создавшего ламповый радиопередатчик мощностью 150 *вт*, который работал на волне 5,5 *м*. Этот передатчик, рассчитанный на тональную телеграфию, обеспечивал уверенную связь на расстоянии до 20 *км*.

В 1925—1926 гг. в радиоотделе Всесоюзного электротехнического института (ВЭИ) проводились опыты по исследованию распространения ультракоротких волн. Передатчик ВЭИ был построен по двухтактной схеме на маломощных приемных лампах. В 1927—1928 гг. в ВЭИ была разработана аппаратура для связи на волне 4 *м*. В 1928 г. Б. А. Введенский и другие советские ученые совершили ряд полетов на самолетах и свободных аэростатах с целью изучения законов распространения ультракоротких волн. При высоте полета 1 500 *м* дальность связи достигала 60 *км*. На основании проведенных опытов Б. А. Введенский установил закон распространения ультракоротких волн в пределах прямой видимости. Он установил, что сила приема прямо пропорциональна произведению высот приемной и передающей антенн и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Эта формула, получившая название квадратичной, появилась в зарубежной литературе лишь спустя 5 лет, т. е. в 1933 г.

В 1931 г. была построена радиовещательная станция, которая работала на волне 5,8 *м* и обеспечивала уверенный прием на сверхрегенеративный приемник в радиусе 20—30 *км*. Опыты по радиотелефонии велись также на опытной радиостанции НКПиТ, причем была достигнута дальность передачи до 80 *км*.

В 1932—1933 гг. между Москвой и Ногинском действовала линия радиосвязи на метровых волнах.

В 1929 г. была осуществлена кварцевая стабилизация ультракоротковолнового передатчика мощностью 20 *вт* на волне 6 *м*. В том же году М. А. Бонч-Бруевич пред-

ложил схему усилителя с заземленной сеткой, нашедшую широкое применение в современной ультравысокочастотной аппаратуре.

В 1935 г. Б. А. Введенский вывел формулу для подсчета напряженности поля за пределами горизонта. В иностранной литературе эта формула появилась намного позднее.

Освоение метровых волн радиолюбителями началось в тридцатых годах. В радиолюбительской литературе того времени описан ряд конструкций ультракоротковолновых приемников и передатчиков главным образом переносного типа, предназначенных для ближней связи и репортажа.

Удельный вес ультракоротких волн в современной радиотехнике исключительно велик и продолжает возрастать с каждым днем.

Область применения ультравысоких частот не ограничивается рамками радиосвязи, а распространяется на многие другие отрасли техники и народного хозяйства. В металлургии ультравысокие частоты применяются для так называемой высокочастотной закалки металлов, в деревообрабатывающей промышленности для сушки древесины, в пищевой промышленности для консервирования продуктов, в медицине в качестве мощного целебного средства и т. п.

В области радиовещания перспективы применения ультракоротких волн не менее значительны. Благодаря большой ширине диапазона ультравысоких частот здесь оказалось возможным применение новых видов модуляции — частотной, фазовой и импульсной, крупным достоинством которых является значительное повышение помехоустойчивости при приеме. Если учесть, что вообще влияние помех на ультракоротких волнах меньше, чем на более длинных волнах, перспективы повышения качества радиовещания, представляемые этим диапазоном, станут еще более наглядными.

Ультракороткие волны пригодны не только для местного вещания. Путем ретрансляции радиус действия радиовещания на ультракоротких волнах может быть значительно расширен.

В будущем в нашей стране, несомненно, будет создана густая сеть ретрансляционных станций, что явится новым этапом в деле социалистической радиофикации.

Для экспериментальной работы в области радиосвязи радиолюбителям отведен ряд участков коротковолнового диапазона и ультракоротковолновый поддиапазон от 3,45 до 3,53 *м* (85 000—87 000 *кгц*).

Любительские коротковолновые и ультракоротковолновые радиостанции подразделяются на три категории.

Начинающим радиолюбителям выдается разрешение на установку и эксплуатацию радиостанций третьей категории мощностью до 5 *вт* в антенне. Им предоставляется право работать на 3,5-, 80- и 160-метровых любительских диапазонах, причем на 3,5-метровом диапазоне разрешается работать как телефоном, так и телеграфом, а на 80- и 160-метровых — только телеграфом.

Более опытным радиолюбителям-коротковолновикам выдается разрешение на установку и эксплуатацию радиостанций второй категории и предоставляется право работать на 3,5-, 20-, 40-, 80- и 160-метровых любительских диапазонах при мощности передатчика до 20 *вт*. Телефонная работа им разрешается также только на ультракоротких волнах.

Наконец, радиолюбители, получившие разрешение на постройку радиостанции первой категории, могут работать телефоном и телеграфом на всех любительских диапазонах при мощности в антенне до 100 *вт*.

Разрешение на установку и эксплуатацию любительской передающей радиостанции выдается органами Министерства связи по ходатайству радиоклубов.

Подробные сведения о порядке ведения любительской радиосвязи, а также все необходимые для этого справочные материалы содержатся в книге «Справочник коротковолновика», ДОСАРМ, Москва, 1950 г.

В настоящей книге рассматриваются вопросы, связанные с генерированием, излучением, распространением и приемом метровых радиоволн.

Книга рассчитана на читателя, знакомого с основами общей радиотехники и обладающего некоторым опытом в самостоятельном изготовлении радиоаппаратуры средней сложности. Однако ряд вопросов рассмотрен в ней упрощенно с тем, чтобы облегчить восприятие материала начинающим радиолюбителям.

---

## ГЛАВА ПЕРВАЯ

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

### 1. РОЛЬ ИОНОСФЕРЫ В РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН

Земная атмосфера состоит из трех качественно различных слоев. Первый из них называется тропосферой. Верхняя граница тропосферы проходит приблизительно в 11 *км* от поверхности земли. Следующий по высоте слой носит название стратосферы. Высота его от земли составляет около 50 *км*. Последний слой, именуемый ионосферой, простирается вверх до нескольких сотен километров. Этот слой играет решающую роль в распространении радиоволн на большие расстояния.

Влияние, оказываемое ионосферой на распространение радиоволн, было изучено и объяснено М. В. Шулейкиным в 1920 г.

Ионосфера является проводящим слоем, содержащим свободные электроны и ионы. Благодаря наличию свободно заряженных частиц она обладает способностью при определенных условиях преломлять электромагнитные волны и отражать их обратно на землю. Таким образом, этот слой атмосферы можно уподобить огромному сферическому зеркалу, окружающему землю. Высота ионосферы не является постоянной, она различна в зависимости от времени суток, времени года и характера солнечной деятельности.

Распространение электромагнитной энергии происходит двумя путями — посредством поверхностной (земной) волны, распространяющейся вдоль земной поверхности, и с помощью пространственной волны, которая распространяется в атмосфере и, отражаясь от ионизированного слоя, возвращается на землю в точке, значительно удаленной от пункта излучения. Отражение радиоволн возможно лишь до частот, не превышающих критическую. Критической частотой называется наиболее высокая частота колебаний, при которой волна, посланная вертикально вверх, еще отражается ионосферой и возвращается на землю. Критическая частота

зависит от концентрации электронов в ионосферном слое, которая, в свою очередь, подвержена влиянию целого ряда факторов и испытывает довольно резкие колебания.

Большая часть факторов, влияющих на степень ионизации верхних слоев атмосферы, связана с солнечным излучением. Всякое изменение в деятельности солнца (суточный и годовой циклы, 11-летний внутренний цикл) приводит к изменению концентрации заряженных частиц в ионосфере, а следовательно, и критической частоты. В солнечной деятельности, об интенсивности которой судят по числу солнечных пятен, наблюдается строгая периодичность. Максимумы пятен имеют место каждые 11 лет и сопровождаются увеличением степени ионизации. В периоды максимума солнечной деятельности критическая частота заметно повышается.

При излучении, касательном к поверхности земли, от ионосферы отражаются электромагнитные волны, частоты которых в несколько раз выше критической. Наиболее высокая частота колебаний, при которой волна, посланная по касательной к земной поверхности, еще отражается ионосферой и возвращается на землю, называется предельной. В годы максимальной интенсивности солнечной деятельности критическая частота достигает 13 *мггц*, а соответствующая ей предельная частота — 40 *мггц* и более.

## 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ДЛИННЫХ, СРЕДНИХ И КОРОТКИХ ВОЛН

Для того чтобы показать более наглядно особенности распространения ультракоротких волн, рассмотрим сначала характер распространения колебаний «низких» радиочастот.

Радиоволны длинноволнового, средневолнового и коротковолнового диапазонов достигают точки приема либо распространяясь вдоль поверхности земли, либо отражаясь от ионосферы. В зависимости от расстояния, длины волны, времени суток и характера поверхности, над которой происходит распространение, в месте приема преобладают либо поверхностные, либо отраженные волны.

К особенностям длинных волн можно отнести их сравнительно малое поглощение земной поверхностью, а также способность огибать кривизну земли. На расстояниях меньше 300 *км* главную роль в распространении длинных волн играет поверхностная волна. На расстояниях от 300 до 3 000 *км* наблюдается прохождение как поверхностной, так и пространственной волны. По мере повышения расстояний роль пространственной волны возрастает, поэтому напря-

женность поля в месте приема начинает зависеть от времени суток, времени года и состояния ионосферы.

На расстояниях свыше 3 000 *км* преобладает пространственная волна, вследствие чего напряженность поля в месте приема практически не зависит от характера земной поверхности, а определяется только состоянием ионосферы. Ночью напряженность поля длинных волн почти всегда выше, чем днем. Для средних волн характерно довольно значительное поглощение энергии поверхностной волны земной поверхностью. Так же как и в случае длинных волн, здесь наблюдается явление дифракции — огибания волной кривизны земли.

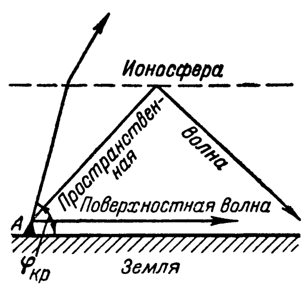
В дневное время суток вследствие сильного поглощения пространственной волны нижними слоями ионосферы на расстояниях до 1 000 *км* преобладает поверхностная волна. Однако на больших расстояниях интенсивность ее становится весьма малой и прием прекращается.

Ночью интенсивность отраженных волн резко повышается и радиус действия средневолновых радиостанций возрастает до нескольких тысяч километров. Это объясняется тем, что в часы темноты поглощение пространственной волны в ионосфере уменьшается во много раз. Ночью на больших расстояниях напряженность поля, создаваемого средневолновой радиостанцией, непрерывно изменяется. Причина замираний кроется в интерференции пространственной и поверхностной волн или нескольких отраженных лучей, приходящих к месту приема различными путями.

Для коротких волн, так же как и для средних, характерно значительное поглощение энергии поверхностной волны. Особенно велико оно при распространении волны над сушей. Главную роль в распространении коротких волн играет пространственная волна. Для отражения коротких волн ионосферой требуется значительно бо́льшая электронная концентрация, чем в случае длинных и средних волн. При этом чем круче угол излучения, тем меньше расстояние между пунктами передачи и приема. Однако, начиная с некоторого угла $\varphi_{кр}$, ионосфера перестает отражать лучи и они не возвращаются на землю (фиг. 1). Наибольший угол излучения соответствует минимальному расстоянию, на котором еще существует некоторая напряженность поля отраженной волны. На меньших расстояниях от места передачи пространственная волна отсутствует и связь может осуществляться только посредством поверхностной волны. Но радиус действия земного луча на коротких волнах довольно мал,

поэтому на некоторых расстояниях от передатчика напряженность поля практически равна нулю.

По мере удаления от места передачи наблюдается следующее: в радиусе нескольких десятков (а иногда и сотен) километров действует земная волна; постепенно ее интенсивность падает, и, наконец, прием прекращается. Далее следует так называемая «зона молчания» («мертвая» зона), в которой прием отсутствует. При дальнейшем удалении от передатчика прием возникает вновь, но теперь он происходит за счет отраженной волны. Чем короче волна, тем шире зона молчания и тем бóльшие расстояния удается перекрыть при благоприятных условиях. Радиус зоны молчания зависит от времени суток, времени года и от состояния ионосферы.



Фиг. 1. Зависимость радиуса действия пространственной волны от угла излучения.

Короткие волны можно подразделить на «дневные», «сумеречные» и «ночные». Дневные волны относятся к наиболее высокочастотной части диапазона. Ночью эти волны не отражаются ионосферой, так как в ночные часы концентрация электронов в ней мала и критическая частота низка. Сумеречные волны (порядка 20 *м*) начинают проходить перед восходом солнца. Днем они проходят несколько хуже, чем дневные волны, вечером напряженность поля, создаваемого ими, возрастает, однако через несколько часов после захода солнца прохождение сумеречных волн значительно ухудшается. Ночные волны (длиннее 30 *м*) в любое время суток отражаются ионосферным слоем, и их прохождение определяется в основном поглощением в ионосфере. Днем напряженность поля ночных волн сравнительно мала, максимум напряженности имеет место через несколько часов после захода солнца.

На коротких волнах нередко наблюдаются замирания сигналов и явления радиоэхо, которое бывает заметно во время приема телеграфных радиостанций. Причина замираний заключается в интерференции радиоволн, пришедших в пункт приема различными путями (или с различным числом отражений от ионосферы). Причина образования эхо кроется в запаздывании сигналов, идущих более длинным путем. На распространение коротких волн оказывают очень

большое влияние магнитные и ионосферные бури. В это время критические частоты резко падают и ионосфера перестает отражать электромагнитные волны, частоты которых в обычные дни значительно ниже предельных.

## 3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН

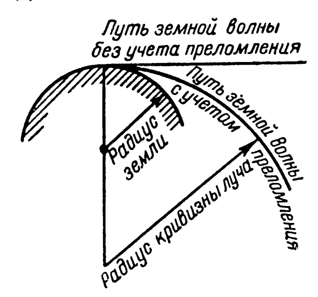
В противоположность длинным, средним и коротким волнам ультракороткие волны в нормальных условиях не отражаются ионосферой. Исключения могут быть только на самых длинных волнах этого диапазона и то в годы интенсивной солнечной деятельности, когда предельные частоты поднимаются до 40 *мггц*, а в некоторых случаях и еще выше. При этом соответствующие им волны становятся близкими по своим свойствам к дневным волнам коротковолнового диапазона. Наблюдались случаи связи на большие расстояния на волнах порядка 5 *м* в часы, когда весь путь от передатчика до места приема освещался солнцем.

Временами наблюдается аномальное «спорадическое» отражение ультракоротких волн ионосферой. Наиболее часто это явление встречается в летние месяцы как днем, так и ночью. Спорадические отражения происходят довольно редко и, как правило, кратковременны.

Зарегистрированы также отдельные дальние связи на частотах, во много раз превышающих предельную частоту (порядка 100 *мггц* и выше). Они не могут быть объяснены отражениями от ионосферы, хотя спорадические отражения не исключены и на этих частотах. Связи на расстояниях в несколько сот километров объясняются отражением пространственной волны от нижних слоев атмосферы — облаков, границ раздела теплых и холодных масс воздуха и т. п. Наиболее часто это явление происходит в ночное время.

Таким образом, на метровых волнах можно при благоприятных условиях устанавливать связи на весьма большие расстояния, хотя возможности дальних связей здесь ограничены. Большой интерес представляют работы любителей телевидения, доказавших возможность довольно регулярного приема передач Московского телецентра на расстояниях свыше 200 *км*. Дальность радиосвязи на ультракоротких волнах может быть повышена путем применения приемных и передающих антенн с острой характеристикой направленности. Уверенная и регулярная радиосвязь на ультракоротких волнах может быть осуществлена только лишь посредством поверхностной волны на расстояниях, соизмеримых с дальностью прямой видимости.

Земная волна подвержена значительному поглощению, особенно в условиях пересеченной или лесистой местности и в городах. Дифракция (способность огибать препятствия) ультракоротких волн выражена гораздо слабее, чем в случае более длинных волн. На расстояниях, превышающих дальность прямой видимости, напряженность поля поверхностной волны ослабляется тем более резко, чем меньше длина волны. Это объясняется тем, что за горизонтом часть электромагнитной энергии излучается в пространство, не будучи в состоянии огибать кривизну земли. Уже для сантиметровых волн кривизна земной поверхности представляет практически неодолимое препятствие, поэтому радиус действия радиостанции здесь равен расстоянию прямой видимости.




Фиг. 2. Преломление ультракоротких волн в атмосфере

Значительное влияние на распространение ультракоротких волн оказывает преломление волн в тропосфере. Диэлектрическая постоянная атмосферного воздуха меняется с высотой; одновременно изменяется и его коэффициент преломления, вследствие чего путь распространения ультракоротких волн искривляется. При этом луч изгибается в сторону земной поверхности. Если учесть, что радиус искривления луча в 2,5—5 раз больше радиуса кривизны земной поверхности, то станет очевидным, что преломление ультракоротких волн в атмосфере увеличивает дальность их распространения (фиг. 2). Наибольшее искривление луч испытывает в нижней части тропосферы, так как плотность воздуха и его влажность меняются там более резко. Вместе с тем поблизости от земли влажность воздуха изменяется в широких пределах в зависимости от времени года и суток, а также и от погоды. Поэтому радиус искривления луча колеблется, в результате чего напряженность поля ультракоротких волн изменяется во времени.

Дальность прямой видимости следует подсчитывать с учетом влияния, оказываемого на нее преломлением волн в атмосфере. Обычно дальность прямой видимости вычисляется по формуле

$$Д = \sqrt{2R}\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

где $R$ — радиус земли, *км*;

$h_1$ и $h_2$ — высоты передающей и приемной антенн над поверхностью земли, *км*.

Радиус земли $R$ равен приблизительно 6 370 *км*, однако преломление волн тропосферой эквивалентно его увеличению до 8 030 *км* в случае сухого воздуха и до 10 200 *км* в случае влажного. С учетом сказанного выше формулу для определения дальности прямой видимости можно представить в виде

$$Д_c = 4{,}01\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

что справедливо для случая сухого воздуха, или в виде

$$Д_в = 4{,}52\,(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

что соответствует случаю влажного воздуха. Здесь $Д$ — в *км* и $h$ — в *м*.

В среднем эффективный радиус земли принимается равным 8 500 *км*. Колебания эффективного радиуса зависят от погоды, времени года и суток и особенно велики при инверсиях температуры, т. е. тогда, когда температура с увеличением высоты сначала растет и только потом начинает плавно понижаться.

На ультракоротких волнах наблюдаются резкие и глубокие замирания, во время которых напряженность поля на расстояниях, близких к дальности прямой видимости, может изменяться в 10 и более раз. Поскольку влажность и плотность воздуха, а следовательно, и эффективный радиус земли, не меняются столь быстро и резко, подобные замирания могут объясняться только интерференцией лучей, приходящих в точку приема различными путями. Характерно, что в одном и том же пункте и в одно и то же время максимум напряженности поля волн одной длины может совпадать с минимумом напряженности поля, образуемого волнами другой длины.

На расстояниях, равных дальности прямой видимости, интенсивность лучей, отраженных от облаков, границ раздела холодных и теплых масс воздуха и т. п., может достигать интенсивности прямых лучей. При изменении формы облаков или неоднородностей воздуха условия отражения могут резко меняться, что также приводит к замираниям.

Остановимся подробнее на распространении ультракоротких волн в больших городах, так как этот случай наиболее часто встречается в радиолюбительской практике. Распределение напряженности поля в условиях города носит чрезвычайно сложный характер вследствие интерференции большого количества прямых и отраженных лучей.

На распространение ультракоротких волн в городах оказывают влияние такие факторы, как высота зданий, их расположение, толщина стен, материал крыши и даже уличное движение. Особенно велико экранирующее действие зданий и стен. Так, если приемник вместе с антенной находятся внутри бетонного здания (или здания с толстыми кирпичными стенами), прием отсутствует или, в лучшем случае, громкость сигналов намного ниже, чем при использовании наружной антенны. Если между передатчиком и приемником расположено высокое здание, напряженность поля в месте приема намного меньше напряженности поля в пункте, расположенном на таком же расстоянии от передатчика, но на открытой местности. Если же между передатчиком и приемником находится свободное пространство, а позади приемника расположено высокое здание, напряженность поля в месте приема возрастает, так как антенна приемника помимо прямых волн воспринимает волны, отраженные от стен здания.

При установке направленных антенн следует учитывать отражение лучей зданиями. В некоторых случаях максимум силы приема наблюдается тогда, когда направленная приемная антенна установлена так, что основной «лепесток» характеристики ее излучения направлен не точно в сторону передатчика, а под некоторым углом.

Как показал опыт, средняя напряженность поля ультракоротких волн в городе в несколько раз меньше напряженности, которая имела бы место, если бы распространение радиоволн происходило в условиях ровной открытой местности. При расчете дальности прямой видимости в городах высота передатчика отсчитывается не от уровня земли, а от среднего уровня крыш зданий, окружающих место приема. Однако и в этом случае практическая ценность такого расчета довольно сомнительна.

## ГЛАВА ВТОРАЯ

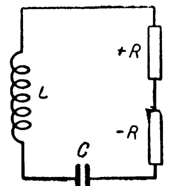
# РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА МЕТРОВЫХ ВОЛН

### 1. ПРОЦЕСС САМОВОЗБУЖДЕНИЯ ЛАМПОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Если привести в действие любую механическую колебательную систему, например маятник или пружину, и затем предоставить ее самой себе, то амплитуда колебаний начнет постепенно уменьшаться, пока, наконец, колебательный процесс не прекратится. Затухание колебаний в механических

колебательных системах обусловливается трением в опорах, сопротивлением окружающей среды и т. п. Оно может быть предотвращено восполнением потерь путем дополнительной затраты энергии. Так, например, часовой маятник будет колебаться до тех пор, пока энергия, накопленная в пружине или гирях, восполняет потери энергии, вызванные трением.

В электрической колебательной системе, так же как и в механической, существование незатухающих колебаний связано с восполнением потерь за счет притока энергии извне. В генераторе потери электромагнитной энергии в активном сопротивлении контура, диэлектрические потери и т. д. уравновешиваются энергией постоянного тока, поставляемой источником анодного питания. Иными словами ламповый генератор преобразует энергию постоянного тока в энергию незатухающих колебаний.



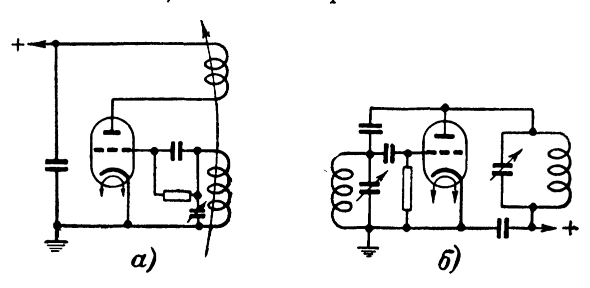
Фиг. 3. Действие отрицательного сопротивления.

Если очаги потерь электромагнитной энергии в контуре изобразить в виде сосредоточенного положительного активного сопротивления, то источник восполнения этих потерь должен быть изображен как эквивалентное отрицательное сопротивление, включенное в контур последовательно с положительным и равное ему по абсолютной величине (фиг. 3).

Особенностью цепей, содержащих отрицательное сопротивление, является то, что они не подчиняются закону Ома. Так, при повышении разности потенциалов на концах отрицательного сопротивления ток, протекающий через него, не возрастает, как обычно, а, наоборот, уменьшается. Функции отрицательного сопротивления в большинстве генераторов с самовозбуждением (в том числе и в ультракоротковолновых генераторах) выполняются лампой в совокупности с цепью обратной связи.

Одним из условий возникновения и существования незатухающих колебаний в ламповых генераторах является наличие сдвига фаз в 180° между переменными напряжениями на аноде и управляющей сетке лампы. При этом условии лампа становится отрицательным сопротивлением и начинает восполнять потери в колебательной системе генератора. Необходимый сдвиг фаз анодного и «управляющего» напряжений обеспечивается соответствующим выполнением цепи обратной связи. Существуют различные схемы самовозбуждающихся генераторов. На фиг. 4,*а* приведена одна из схем генераторов с индуктивной обратной связью,

а фиг. 4,*б* иллюстрирует один из вариантов емкостной обратной связи. В первой схеме требуемый сдвиг фаз между переменными напряжениями на аноде и на сетке обеспечивается соответствующим включением концов катушки обратной связи, во второй — определенным соотношением настроек контуров. Таких примеров можно было бы привести очень много, однако назначение цепей обратной связи, в каком бы виде они ни были выполнены, одно и то же: подвести к управляющей сетке лампы генератора переменное напряжение требуемой величины, частоты и фазы.




Фиг. 4. Схемы самовозбуждающихся генераторов.
*а* — с индуктивной обратной связью; *б* — с емкостной обратной связью.

Вторым условием возникновения и существования колебаний является необходимость того, чтобы отрицательное сопротивление по своей абсолютной величине было достаточно для компенсации положительного сопротивления колебательной системы. Генерация возникает только в том случае, если потери в контуре равны нулю или отрицательны. Если суммарное активное сопротивление колебательного контура равно нулю, амплитуда колебаний постоянна. Если оно равно отрицательной величине, амплитуда колебаний начинает возрастать и увеличивается до тех пор, пока не наступит равновесие, при котором приток энергии уравновешивается ее затратой в колебательной системе.

Мы показали условия, которые необходимы для того, чтобы колебания в контуре были незатухающими. Остается выяснить, какова причина возникновения генерации, т. е. возбуждения колебаний в контуре генератора при его включении. Действительно, для того чтобы часовой маятник начал колебаться, необходим внешний толчок, который бы вывел его из положения равновесия. В ламповом генераторе

роль внешней силы, «раскачивающей» колебательную систему, играют мгновенные изменения (толчки) тока, которые непрерывно наблюдаются в анодной цепи лампы. В начальный момент колебательный контур находится как бы в состоянии неустойчивого равновесия, из которого его выводит малейшее изменение тока, после чего в контуре возникают колебания; амплитуда этих колебаний возрастает до тех пор, пока не наступит устойчивое равновесие.

Принципиальной разницы между ламповыми генераторами ультравысоких и обычных радиочастот нет. Тем не менее, практические схемы ультракоротковолновых генераторов специфичны, так как особенности ультравысоких частот накладывают ряд дополнительных условий, удовлетворение которых необходимо для существования устойчивой генерации.

## 2. РАБОТА ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП НА МЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

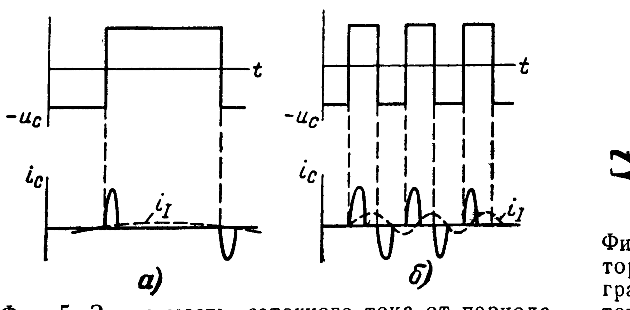
Условия работы электронных ламп в диапазоне ультракоротких волн резко отличаются от тех условий, которые имеют место на более длинных волнах. На сравнительно низких радиочастотах период колебания во много раз больше того времени, за которое электрон, вылетевший с катода лампы, достигает других ее электродов (сетки, анода). По мере повышения частоты период колебания уменьшается и на ультравысоких частотах становится соизмеримым с временем пролета электронов. Вследствие этого лампа утрачивает свойства «безинерционного реле», каковым она является на более низких частотах.

Пусть на сетку электронной лампы подается переменное напряжение в виде импульсов прямоугольной формы. В момент отрицательного полупериода лампа заперта и сеточный ток равен нулю. Как только лампа отпирается, электроны начинают двигаться по направлению к аноду. Во время своего движения они согласно законам электродинамики наводят на сетке лампы электрический заряд.

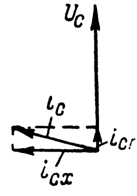
В начальный момент, когда электроны еще не успели достичь сетки, заряд, наводимый на ней, вызывает ток определенного направления. Как только электроны минуют сетку, они начнут наводить на ней заряд, вызывающий ток обратного направления. Суммарный наводимый ток начнет уменьшаться, и в тот момент, когда электроны достигнут анода, станет равным нулю, так как токи, вызываемые электронами, приближающимися к сетке и удаляющимися

от нее, будут при этом одинаковы по величине, но обратны по направлению. Аналогичные явления происходят и в момент запирания лампы, только импульс сеточного тока в этом случае противоположен по знаку импульсу, возникающему при отпирании лампы.

На сравнительно низких радиочастотах длительность импульсов наводимого сеточного тока составляет ничтожную часть периода колебания и амплитуда первой гармоники сеточного тока незначительна (фиг. 5,*а*).




Фиг. 5. Зависимость сеточного тока от периода колебания.




Фиг. 6. Векторная диаграмма сеточной цепи лампы.

На ультракоротких волнах длительность импульсов наводимого сеточного тока становится соизмеримой с периодом колебания и первая гармоника сеточного тока возрастает.

Сеточный ток существует, несмотря на большое отрицательное смещение на управляющей сетке (фиг. 5,*б*). Между напряжением на сетке $U_c$ и сеточным током $i_I$ имеется, как это видно из кривых фиг. 5,*б*, некоторый сдвиг фаз.

Упрощенная векторная диаграмма сеточной цепи лампы, работающей в диапазоне ультракоротких волн, приведена на фиг. 6. Как видим, результирующий сеточный ток $i_c$ имеет не только реактивную, но и активную составляющие. Реактивная составляющая тока $i_{cx}$ изменяет входную емкость лампы, а активная составляющая $i_{cr}$, шунтируя промежуток катод—сетка лампы, снижает ее входное сопротивление. Теория показывает, что активная входная проводимость, вызываемая соизмеримостью времени пролета электронов с периодом колебания, увеличивается пропорционально квадрату времени пролета, квадрату частоты и крутизне лампы. Уменьшение входного сопротивления лам-

пы на ультракоротких волнах вызывает увеличение мощности, расходуемой в сеточной цепи, т. е. мощности возбуждающей ступени.

Выше было упомянуто, что одним из необходимых условий возникновения и существования колебаний является необходимость сдвига фаз в 180° между напряжениями на аноде и сетке лампы. На ультракоротких волнах за счет соизмеримости времени пролета электронов с периодом колебания фазы этих напряжений оказываются сдвинутыми на угол, отличный от 180°, вследствие чего выполнение условий самовозбуждения затрудняется. Внутреннее сопротивление лампы на коротких, средних и длинных волнах чисто активно, на ультракоротких же волнах оно имеет комплексный характер. Поэтому мощность, выделяемая в нагрузке лампы при ультравысоких частотах, значительно снижается, а потери на ее аноде возрастают (что равноценно расстройке анодного контура).

На очень высоких частотах период колебания может стать значительно меньше времени пролета электронов. Тогда при определенных условиях наступает такое положение, что прежде чем вылетевшие с катода электроны успевают достичь сетки, последняя заряжается отрицательно и отбрасывает их обратно к катоду. При этом накопленная электронами кинетическая энергия расходуется на разогрев катода, что значительно сокращает срок службы ламп.

Время пролета электронов пропорционально расстоянию между катодом и сеткой лампы. Для каждого конкретного значения ультравысокой частоты существует свое критическое расстояние между катодом и сеткой. При расстояниях, больших критического, электроны достигают сетки и минуют ее только тогда, когда лампа отперта при отсутствии переменного напряжения на сетке, что чаще всего бывает при нулевом или положительном смещении на ней.

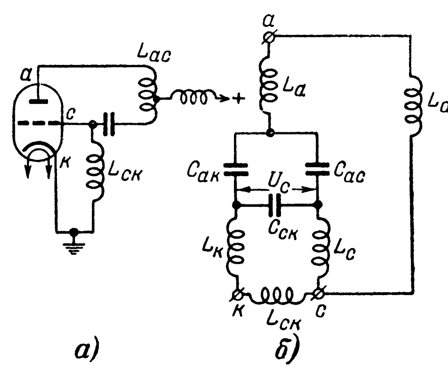
При работе на ультракоротких волнах резко возрастает влияние междуэлектродных емкостей, а также индуктивностей вводов и деталей ламп. Вследствие этого принципиальная схема генератора перестает отражать действительность, так как на ней не показываются внутриламповые индуктивности и емкости. На фиг. 7,*а* показана принципиальная схема ультракоротковолнового генератора с самовозбуждением, а на фиг. 7,*б*—его эквивалентная схема, учитывающая междуэлектродные емкости ($C_{ак}$, $C_{ас}$, $C_{ск}$) и индуктивности вводов лампы ($L_a$, $L_к$, $L_c$). Как видим, последняя схема более сложна.

Работа генератора во многом зависит от индуктивности $L_c$ ввода управляющей сетки лампы, индуктивности $L_к$ ввода катода, индуктивности сеточного дросселя $L_{ск}$, емкости анод—сетка $C_{ас}$ и емкости анод—катод $C_{ак}$.

Эти реактивные элементы, как видно из эквивалентной схемы (фиг. 7,*б*), образуют мост, равновесие которого наступает в том случае, если соблюдается пропорция

$$\frac{C_{ак}}{C_{ас}} = \frac{L_к + L_{ск}}{L_c}.$$

Нетрудно заметить, что при этом напряжения на катоде и сетке лампы равны между собой ($U_c = 0$) и коэффициент обратной связи равен нулю. Следовательно, при определенном соотношении пяти реактивных элементов, из которых четыре являются внутриламповыми, обратная связь отсутствует и условия самовозбуждения не выполняются.




Фиг. 7. Принципиальная схема ультракоротковолнового генератора с самовозбуждением (*а*) и его эквивалентная [схема (*б*).

Если соединить накоротко соответствующие электроды лампы генератора, то частота генерируемых колебаний будет определяться исключительно данными индуктивностей и емкостей электродов и их вводов. В этом случае ее можно назвать собственной частотой данной лампы. Вполне очевидно, что собственная частота лампы является наивысшей частотой, на которой лампа может генерировать. Таким образом, верхняя граница диапазона частот, генерируемых каким-либо конкретным типом лампы, определяется, во-первых, расстоянием между катодом и сеткой, а во-вторых, величинами индуктивностей и емкостей электродов. Поэтому развитие генераторных ламп ультракоротковолнового диапазона идет по пути уменьшения их размеров. Естественно, что чем меньше площади электродов, тем меньше их реактивности, в силу чего, например, миниатюрная лампа типа 6С1Ж,

сочетающая малые площади электродов с небольшими междуэлектродными расстояниями, может генерировать колебания ультравысоких частот вплоть до дециметровых волн. Современные радиолампы для генерирования ультракоротких волн при мощностях в сотни ватт имеют размеры, близкие к размерам обычных приемно-усилительных ламп, но требуют усиленного воздушного охлаждения во время работы.

В связи со спецификой ультракоротких волн были разработаны и нашли широкое применение принципиально новые типы электронных приборов, зачастую объединяющие в себе функции ламп и колебательных систем. Рассмотрение подобных устройств (клистронов, магнетронов и т. п.) выходит из рамок настоящей книги.

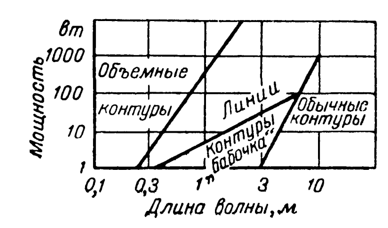
## 3. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ МЕТРОВЫХ ВОЛН

По мере повышения частоты колебаний и увеличения их мощности целесообразность использования обычных колебательных контуров, состоящих из конденсатора и катушки индуктивности, уменьшается. С повышением частоты возрастают потери энергии на излучение, вследствие чего добротность контуров падает, а паразитные связи между элементами схемы становятся более сильными.

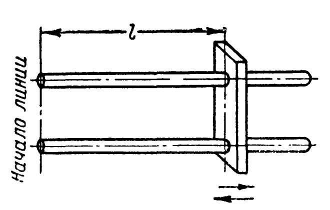
Отмеченные недостатки обычных колебательных контуров вызывают необходимость применения специальных типов колебательных систем: резонансных линий, контуров типа «бабочка», объемных контуров и т. п. Обычные колебательные контуры в настоящее время применяются на волнах не короче нескольких метров при малых и средних мощностях генерируемых колебаний. Область применения того или иного типа колебательных систем определяется длиной волны и мощностью генератора (фиг. 8).

В радиолюбительской практике пока еще приходится иметь дело с относительно низкими радиочастотами и малыми мощностями, поэтому объемные контуры здесь, как правило, не используются. Больший интерес для радиолюбителей представляют колебательные системы, промежуточные между обычными электрическими контурами и объемными резонаторами. К числу таких систем относятся, в частности, резонансные двухпроводные линии, замкнутые на конце передвижной перемычкой, служащей для настройки (фиг. 9). Симметричные двухпроводные линии могут использоваться

как в однотактных, так и в двухтактных схемах ламповых генераторов, однако последний случай более предпочтителен. Для уменьшения размеров резонансную линию можно

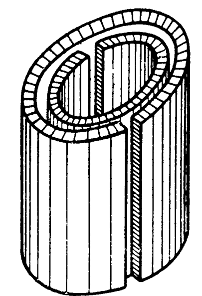



Фиг. 8. Области применения различных колебательных систем.




Фиг. 9. Резонансная линия в качестве колебательной системы.

изогнуть или свернуть в спираль. На более длинных волнах линия настраивается конденсатором, включенным на ее разомкнутом конце.



Фиг. 10. Колебательная система из двух концентрических цилиндров.

В радиолюбительской практике может найти применение и другой вид колебательных систем — система, состоящая из двух концентрически расположенных металлических цилиндров, разрезанных вдоль образующей (фиг. 10). Эта система эквивалентна обычному контуру, причем ее индуктивность приблизительно равна индуктивности внешнего цилиндра, а емкость определяется емкостью зазора между краями внешнего цилиндра, которая, в свою очередь, зависит от положения внутреннего цилиндра, служащего как бы ротором дифференциального конденсатора. Когда разрезы внешнего и внутреннего цилиндров совпадают, емкость зазора минимальна, что соответствует максимуму резонансной частоты системы; когда же зазоры наиболее удалены друг от друга, емкость максимальна (минимум резонансной частоты).

## 4. СТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ГЕНЕРАТОРОВ

Частота генерируемых колебаний, определяемая в основном собственной частотой колебательной системы, зависит также и от целого ряда дополнительных факторов, которые, изменяясь под действием тех или иных внешних причин, вызывают непроизвольное отклонение частоты генерируемых

колебаний от первоначальной величины. Эти факторы носят название дестабилизирующих. К числу их относятся:

1) изменения режима работы генераторной лампы (напряжений источников питания, параметров ламп и т. п.);

2) изменения температуры, влажности и атмосферного давления;

3) механические воздействия (вибрации, удары и т. п.);

4) изменения параметров деталей схемы вследствие старения.

Рассмотрим влияние этих факторов в порядке приведенной выше последовательности.

Влияние питающих напряжений на частоту колебаний генератора с самовозбуждением объясняется следующим. Как было установлено раньше, лампа в генераторе эквивалентна отрицательному сопротивлению, компенсирующему потери энергии в активном положительном сопротивлении колебательной системы. В идеальном отрицательном сопротивлении сдвиг фаз между напряжением и током равен 180°. Таким образом, это сопротивление чисто активное и при подключении к колебательному контуру не вызывает изменения величин его реактивных элементов. В реальном же отрицательном сопротивлении сдвиг фаз между напряжением и током в той или иной степени отличается от 180°, что равносильно появлению некоторой реактивной составляющей отрицательного сопротивления. При этом к колебательной системе оказывается присоединенной дополнительная емкость или индуктивность, величина которой зависит от сдвига фаз, определяемого режимом работы генераторной лампы. Суммируясь с соответствующими реактивными элементами контура, вносимое реактивное сопротивление вызывает изменение частоты генерируемых колебаний.

На частоту генерируемых колебаний влияют также гармоники основной частоты колебательной системы, возникновение которых объясняется нелинейностью характеристик лампы. Интенсивность гармоник возрастает при появлении сеточного тока. Если гармоники отсутствуют, то при резонансе токи в индуктивной и емкостной ветвях колебательного контура равны по абсолютной величине и реактивные энергии этих ветвей взаимно уравновешены. Появление же гармоник вызывает увеличение тока в емкостной ветви, так как емкостное сопротивление с повышением порядка гармоники уменьшается, а индуктивное сопротивление увеличивается. Следовательно, появление гармоник нарушает равновесие реактивных энергий, которое может быть восста-

новлено только на иной, более низкой частоте колебаний, устанавливающейся самопроизвольно.

Изменение нагрузки генератора (реакция последующих ступеней) также может рассматриваться как нарушение режима работы генераторной лампы; кроме того, реактивные элементы нагрузки, будучи подключены к настроенной цепи генератора, оказывают непосредственное влияние на частоту его колебаний.

Влияние температуры, влажности и атмосферного давления, равно как и механические влияния, старение деталей и т. п., вызывает изменение параметров колебательной системы генератора, что также приводит к отклонению генерируемой частоты от ее первоначального значения.

Степень отклонения генерируемой частоты от номинальной при воздействии различных дестабилизирующих факторов характеризует стабильность генератора.

Следует различать два вида стабильности: а) стабильность частоты генерируемых колебаний относительно собственной резонансной частоты колебательной системы генератора и б) стабильность собственной резонансной частоты системы относительно абсолютного эталона.

Генерируемая частота всегда в той или иной степени отличается от собственной частоты колебательного контура; различие этих частот тем больше, чем меньше его добротность.

Как известно из теории, частота колебаний генератора с самовозбуждением определяется фазовыми соотношениями в его цепях. В условиях установившегося режима существует равновесие фаз, при котором сумма сдвигов фаз в цепи самовозбуждения генератора равна нулю. Мы знаем, что наибольшей крутизной фазовой характеристики обладают настроенные колебательные системы, причем наклон фазовой характеристики тем круче, чем выше добротность контура. Благодаря этому резонансные системы обладают свойством резко изменять фазу подводимых к ним колебаний при отклонении их частоты от резонанса. Ясно, что контуры с более высокой добротностью более резко изменяют фазу колебаний.

Допустим, что собственная частота колебательной системы строго постоянна. Пусть, далее, под влиянием дестабилизирующих факторов произошло некоторое изменение фазы в каком-либо ином участке цепи самовозбуждения, вследствие чего равновесие фаз нарушилось. Для того чтобы равновесие фаз восстановилось, частота генерируемых коле-

баний должна непременно отклониться от первоначального значения. Это отклонение частоты приведет к соответствующему изменению фазы колебательной системой, за счет чего равновесие снова восстановится.

Вполне очевидно, что чем добротнее колебательный контур генератора, тем меньшее отклонение частоты потребуется для восстановления равновесия фаз и тем ближе будет генерируемая частота к собственной частоте контура.

Таким образом, стабильность частоты генерируемых колебаний относительно собственной резонансной частоты колебательной системы генератора определяется добротностью последней.

Выше мы сделали допущение, что собственная частота колебательной системы постоянна. На самом же деле она в большей или меньшей степени зависит от различных внешних факторов. Устойчивость колебательной системы по отношению к влияниям этих факторов называется ее эталонностью.

Одним из важнейших показателей эталонности колебательной системы служит ее температурный коэффициент частоты, показывающий, во сколько раз изменится резонансная частота системы при изменении температуры на 1° С. Температурный коэффициент обычных контуров зависит от величин и соотношения температурного коэффициента емкости конденсатора и температурного коэффициента индуктивности катушки. Обычно эти коэффициенты подбираются так, чтобы отклонение частоты вследствие изменения емкости под влиянием температуры компенсировалось температурным изменением индуктивности. Рациональный выбор параметров контура способствует повышению эталонности. Так, например, увеличение емкости контурного конденсатора уменьшает влияние входной емкости лампы на частоту генерируемых колебаний.

Из вышеизложенного вытекает, что для повышения суммарной стабильности генератора следует увеличивать добротность колебательной системы и улучшать ее эталонные качества.

Как было указано раньше, по мере повышения частоты колебаний добротность обычных контуров уменьшается. Падает и эталонность контуров, вследствие чего стабильность генератора ухудшается.

Двухпроводные линии, используемые в качестве колебательных систем, обладают значительно более высокой добротностью, чем обычные контуры, составленные из сосредо-

точенных емкостей и индуктивностей. Теория показывает, что двухпроводная линия обладает наибольшей добротностью в тех случаях, когда ее длина равна четверти длины волны или кратна ей. Четвертьволновая линия представляет собой наиболее удачный вариант как в смысле получения наибольшей добротности, так и в конструктивном отношении.

Добротность объемных контуров очень велика и приближается к добротности кварцевых резонаторов. Объясняется это отсутствием потерь на излучение, а также малыми потерями в диэлектриках и вследствие поверхностного эффекта. Эталонные качества полых резонаторов во много раз выше, чем в обычных колебательных контурах. И тем не менее, применение громоздких объемных контуров в маломощных любительских передатчиках явно нецелесообразно.

## 5. СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Мы уже отмечали, что принципиального различия между генераторами ультравысоких частот и обычными ламповыми генераторами нет. Во всех случаях в ламповых генераторах происходит преобразование энергии постоянного тока источника анодного питания в энергию электромагнитных колебаний. Однако схемы ультракоротковолновых генераторов весьма специфичны, что объясняется особенностями ультравысоких частот, рассмотренными в предыдущих параграфах.

Здесь мы кратко рассмотрим лишь наиболее распространенные схемы триодных генераторов, поскольку специальные типы генераторных схем (магнетронные, клистронные и т. п.) в радиолюбительской практике не используются.

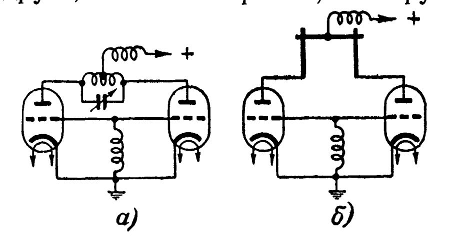
Генераторы ультракоротких волн подразделяются на два класса: однотактные схемы и двухтактные схемы. На фиг. 7 были показаны принципиальная и эквивалентная схемы типового однотактного генератора. Эти схемы в настоящее время находят наиболее широкое применение в конструкциях малогабаритных передатчиков.

Для повышения стабильности частоты колебаний генератора в его анодную цепь нередко включают двухпроводную или концентрическую линию.

Ультракоротковолновые передатчики часто работают на симметричные антенны. В таких случаях целесообразно применять двухтактные генераторные схемы. Наиболее распространенный вариант двухтактной схемы представлен на

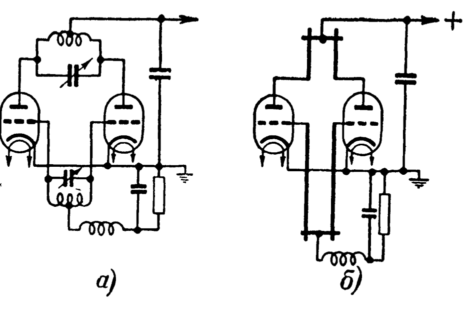
фиг. 11,*а*. В двухтактных генераторах удобно использовать симметричные двухпроводные линии (фиг. 11,*б*).

Существует большое количество вариантов схемы фиг. 11. Они отличаются друг от друга, главным образом, конструктивным выполнением, дополнительными элементами, входящими в колебательную систему, и т. п.



Фиг. 11. Типовая двухтактная схема.

На фиг. 12,*а* показана схема генератора с настроенными контурами не только в анодной, но и в сеточной цепи. Подбором настроек этих контуров можно легко установить требуемый режим работы генератора и расширить область частот, на которых генератор самовозбуждается. Аналогичная схема с применением длинных линий дана на фиг. 12,*б*.



Фиг. 12. Двухтактная схема с контурами в анодной и сеточной цепях.

Генераторы, собранные по схеме с трансформаторной связью, работают неустойчиво и поэтому применяются редко.

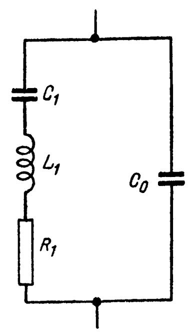
Работа ультракоротковолновых генераторов во многом зависит от их конструктивного выполнения. Особенности конструкций таких генераторов будут рассмотрены в параграфе «Проектирование любительских ультракоротковолновых передатчиков».

## 6. ГЕНЕРАТОРЫ С КВАРЦЕВОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ

Пластинка, определенным образом вырезанная из кристалла кварца, обладает так называемыми пьезоэлектрическими свойствами. Если ее поместить между двумя металлическими пластинками — электродами, то появление противоположных электрических зарядов на этих электродах вызовет механическую деформацию пластинки (сжатие или растяжение). Перемена знаков зарядов на гранях пластинки сопровождается изменением характера деформации.

Если на электроды кварцевой пластинки подается переменная разность потенциалов, пластинка колеблется с частотой, равной частоте переменного напряжения, воздействующего на кварц.

Как и всякая механическая колебательная система, кварцевая пластинка обладает собственной резонансной частотой, определяемой упругостью кварца, размерами пластинки и т. д. Если частота подводимого переменного напряжения совпадает с собственной резонансной частотой пластинки, наступает резонанс, и амплитуда механических колебаний кварца резко возрастает. При этом вдоль размера, определяющего частоту кварцевой пластинки (в ультракоротковолновых кварцах—вдоль толщины), укладывается точно половина длины упругой волны колебаний.




Фиг. 13. Эквивалентная схема кварцевого резонатора.

Пьезоэлектрические явления в пластинках кварца обратимы. При сжатии и растяжении пластинки на ее гранях появляются заряды, полярность которых зависит от характера деформации.

Благодаря своим пьезоэлектрическим свойствам кварцевая пластинка является электромеханической колебательной системой, которая ведет себя аналогично электрическому контуру, представленному на фиг. 13. В этом контуре $R_1$ — эквивалентное активное сопротивление кварцевого резонатора, $L_1$ и $C_1$ — эквивалентные реактивные параметры и $C_0$ — статическая емкость, равная междуэлектродной емкости кварца в совокупности с емкостью монтажа.

Эквивалентный контур кварца имеет две резонансные частоты, расположенные одна вблизи другой. На частоте параллельного резонанса (или на «антирезонансной» частоте) кварц ведет себя, как параллельный колебательный контур; его полное сопротивление активно и очень велико. На частоте последовательного резонанса, которую иногда называют просто резонансной, кварц эквивалентен последовательному колебательному контуру; его полное сопротивление активно и равно эквивалентному сопротивлению $R_1$. Добротность эквивалентного контура кварцевого резонатора

$$Q=\frac{\omega L_1}{R_1}.$$

Здесь $\omega L_1$ пропорциональна энергии, запасенной в контуре, а $R_1$ — потерям энергии за период колебания.

$Q$ кварца во много раз выше добротности обычных колебательных контуров и даже объемных резонаторов. Эквивалентная индуктивность кварцевого резонатора $L_1$ сравнительно велика (достигает десятков, а на низких частотах и сотен генри), а его эквивалентное активное сопротивление $R_1$ довольно мало (измеряется десятками омов). Изготовить катушку индуктивности с такими параметрами практически невозможно, а потому нельзя получить обычные колебательные контуры с добротностью выше нескольких сотен. В кварцевых же резонаторах значение добротности достигает нескольких сот тысяч.

За счет большой величины эквивалентной индуктивности кварцевого резонатора и соответственно малого значения его эквивалентной емкости (последняя измеряется сотыми и даже тысячными долями микромикрофарады) внешние по отношению к резонатору элементы схемы, обладающие сравнительно большими емкостями и малыми индуктивностями, оказывают весьма незначительное влияние на эквивалентные параметры кварца.

Действительно, пользуясь обычными электротехническими методами, можно пересчитать индуктивности и емкости внешних элементов в эквивалентный контур кварца, считая их включенными последовательно с $C_1$ и $L_1$. Ясно, что большая емкость, включенная последовательно с очень малой, почти не изменит ее величины. Точно так же малая индуктивность при последовательном включении с большой окажет на величину последней незначительное влияние. Вполне очевидно, что в обычных контурах влияние внешних элементов на параметры контура, а следовательно, и на его резонансную частоту, будет в сотни и тысячи раз больше.

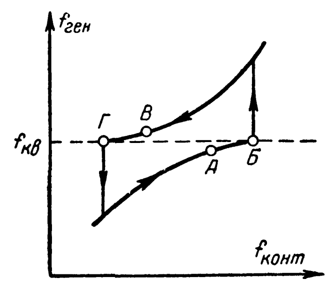
Благодаря твердости кварца, его химической устойчивости и малой величине температурных коэффициентов линейного расширения и упругости кварцевые резонаторы обладают наивысшими эталонными свойствами по сравнению с прочими типами колебательных систем.

В силу перечисленных выше качеств кварцевых пластинок генераторы, стабилизованные кварцем, по стабильности частоты генерируемых колебаний превосходят иные виды генераторов.

В настоящее время кварцевые пластинки делаются на частоты до 100 *мггц*, однако изготовление резонаторов с частотами выше 10—15 *мггц* сопряжено с большими трудно-

стями, так как пропорционально повышению частоты уменьшается толщина кварца, и пластинка становится более хрупкой. Вместе с тем, с повышением частоты кварца возрастает влияние производственных отклонений и качества обработки пластинки на ее добротность. Поэтому стоимость таких кварцев очень высока и они мало доступны для радиолюбителей.

Генераторы с пьезокварцевой стабилизацией подразделяются на так называемые осцилляторные схемы и схемы, в которых используется явление затягивания. В осцилляторных схемах кварцевый резонатор выполняет функции основной, первичной колебательной системы, поэтому при отключении или порче кварца колебания прекращаются. В генераторах с затягиванием кварцевый резонатор не является первичной колебательной системой, а связывается с ней тем или иным способом и при достаточном сближении частот затягивает ее колебания. В таких генераторах колебания возникают без участия кварца.




Фиг. 14. Петля затягивания.

На фиг. 14 показана кривая зависимости частоты генерируемых колебаний от настройки первичного колебательного контура в генераторе с затягиванием, получившая название петли затягивания.

По вертикальной оси этой кривой откладывается частота генерируемых колебаний $f_{ген}$, а по горизонтальной оси — собственная частота колебательного контура генератора $f_{конт}$.

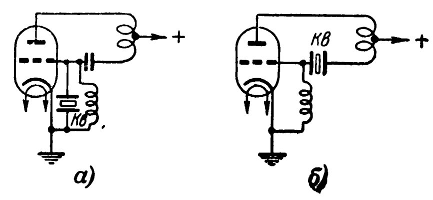
Пусть последняя значительно ниже частоты кварцевого резонатора, электрически связанного с контуром. В таком случае частота генерируемых колебаний, как и в обычном генераторе с самовозбуждением, зависит только от настройки контура, причем эта зависимость прямая.

При повышении частоты контура генерируемая частота также повышается, однако по мере ее приближения к частоте кварца линейная зависимость между генерируемой частотой и настройкой контура нарушается. Частота генерируемых колебаний начинает как бы отставать от резонансной частоты контура и вблизи резонанса (участок *А—Б* петли затягивания) почти не зависит от нее, определяясь в основном кварцевым резонатором. При этом генератор

работает в режиме затягивания, т. е. уже имеет место кварцевая стабилизация.

При дальнейшем повышении частоты контура генерируемая частота сначала почти не меняется, затем происходит резкое изменение генерируемой частоты, и схема вновь начинает работать как обычный генератор с самовозбуждением.

Если теперь начать понижать частоту контура, процесс изменения частоты генерируемых колебаний будет происходить в том же порядке. На участке *В—Г* петли затягивания генерируемая частота снова начнет определяться кварцем, затем опять произойдет скачок частоты.




Фиг. 15. Схемы генераторов с затягиванием.

Возможность скачков генерируемой частоты с одной ветви петли затягивания на другую — крупный недостаток схем с затягиванием. Между условиями достижения наивысшей стабильности и максимальной устойчивости в режиме затягивания существует острое противоречие: по мере приближения генерируемой частоты к частоте кварца ее стабильность повышается, а устойчивость генерации падает. Вблизи точек скачка частоты стабильность наиболее высока, а устойчивость минимальна.

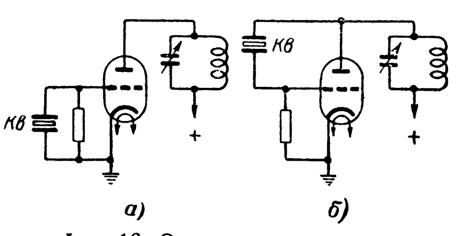
Достоинством генераторов с затягиванием является возможность использования кварцев пониженной добротности, не возбуждающихся в осцилляторных схемах, что особенно ценно для пластин на ультравысокие частоты, добротность которых обычно несколько ниже, чем у пластин на более низкие радиочастоты. На других диапазонах это достоинство схем с затягиванием не имеет существенного значения, поэтому на частотах ниже 10—15 *мггц* такой тип кварцевых генераторов применяется очень редко.

На фиг. 15 показаны два варианта ультракоротковолновых генераторов с затягиванием, эквивалентные схеме фиг. 7.

В схеме фиг. 15,*а* кварц *Кв* включен параллельно участку сетка — катод лампы и шунтирует его. Полное сопротивление сеточной цепи генератора наиболее велико на частоте параллельного резонанса пластины, вблизи которой и происходит генерация.

В схеме фиг. 15,*б* кварц включен в сеточную цепь последовательно и служит элементом связи. Сопротивление этого элемента связи минимально на частоте последовательного резонанса пластины, поэтому генерация происходит не вблизи параллельного резонанса, как в предыдущей схеме, а поблизости от резонансной частоты.

В обеих схемах генерация может существовать и тогда, когда резонатор не возбуждается. Возможно также самовозбуждение на частоте, отличной от частоты кварца, что бывает обычно при значительной расстройке анодного контура генератора.



Фиг. 16. Осцилляторные схемы кварцевых генераторов.

На фиг. 16 показаны две осцилляторные схемы, широко применяющиеся на низких радиочастотах. Эти схемы могут быть использованы и на метровых волнах.

В схеме фиг. 16,*а* анодный контур должен быть настроен на частоту, несколько бо́льшую резонансной частоты кварца, а в схеме фиг. 16,*б* на частоту, несколько меньшую.

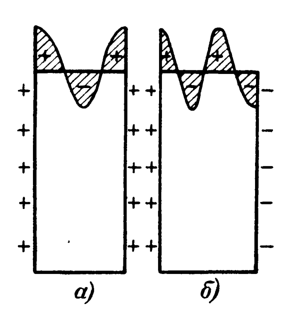
Трудность изготовления и высокая стоимость кварцевых пластинок для ультравысоких частот ограничивают возможность их применения в радиолюбительской практике. Поэтому радиолюбители обычно используют пластинки на более низкие частоты.

Существуют две возможности использования на ультракоротких волнах кварцевых пластинок со сравнительно низкими резонансными частотами. Одна из них заключается в умножении частоты кварцевого резонатора в умножительных ступенях передатчика; другая — в использовании механических гармоник кварца.

Умножение частоты сопряжено с увеличением числа ступеней передатчика и усложнением его схемы; в этом заключается недостаток данного способа получения ультракоротких волн, стабилизованных кварцем. Использование механических гармоник кварцевого резонатора не требует увеличения числа ступеней и с этой точки зрения заслуживает внимания.

Кварцевый резонатор, как и всякая механическая колебательная система, может возбуждаться не только на

основной резонансной частоте, но и на ее гармониках. Если подвести к электродам кварцевой пластинки переменное напряжение, частота которого кратна резонансной частоте кварца, то вдоль размера, определяющего частоту колебаний резонатора (в данном случае вдоль толщины), уложится целое число упругих стоячих полуволн, равное порядковому номеру гармоники. Если частота подводимого напряжения вдвое больше собственной резонансной частоты пластинки, вдоль ее толщины уложатся две полуволны, если втрое — три и т. д. Когда частота подводимого напряжения превысит резонансную частоту кварца в четное число раз, заряды на противоположных гранях пластинки будут одинаковы как по величине. так и по знаку, поэтому пластинка не будет деформироваться и колебания не возникнут (фиг. 17,*а*). Когда же частота подводимого напряжения больше частоты кварца в нечетное число раз, заряды на гранях пластинки будут противоположны по знаку (фиг. 17,*б*) и она начнет колебаться с частотой воздействующего на нее переменного напряжения. Таким образом, кварцевый резонатор может быть возбужден только на нечетных механических гармониках.



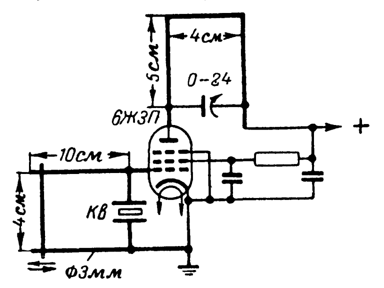

Фиг. 17. Возбуждение кварца на механических гармониках.

Удается наблюдать реакцию пластин на очень высоких механических гармониках, вплоть до 19-й—21-й. Тем не менее, в обычных генераторных схемах, например в схеме с включением кварца между сеткой и катодом, удается возбуждать колебания лишь на 3-й или, в лучшем случае, на 5-й гармонике, причем выходная мощность получается во много раз меньшей, чем при работе на основной частоте кварца. Объясняется это следующим образом. По мере повышения номера используемой механической гармоники эквивалентная емкость кварцевого резонатора $C_1$ уменьшается приблизительно пропорционально номеру гармоники (это следует из формулы $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$ ; при повышении частоты в $n$ раз произведение $LC$ уменьшается также в $n$ раз). Статическая же емкость $C_0$, равная сумме междуэлектродной емкости кварца, входной емкости лампы и емкости монтажа, остается постоянной. Поэтому отношение $C_1/C_0$ сни-

жается и полное сопротивление колебательной системы генератора падает.

Для повышения полного сопротивления сеточной цепи и, следовательно, увеличения выходной мощности параллельно кварцевому резонатору подключают индуктивность, подбираемую опытным путем. Величина результирующего полного сопротивления может регулироваться специальным подстроечным конденсатором, который подключается параллельно индуктивности и кварцу.

Данные генератора, рассчитанного на седьмую механическую гармонику кварцевой пластины, основная частота которой равна 12,3 *мггц*, приведены на фиг. 18. Здесь частота механической гармоники близка к частоте соответствующей электрической гармоники, но может несколько отличаться от нее в ту или иную сторону. Изменением полного сопротивления сеточной цепи генератора можно в некоторых пределах менять частоту генерации. При подключении индуктивности параллельно кварцевому резонатору схема генератора перестает быть осцилляторной. Если собственная частота контура, образованного вспомогательной индуктивностью и статической емкостью кварца, окажется ниже резонансной частоты анодного контура, схема начнет генерировать даже при неисправном кварце, который, естественно, будет вести себя в этом случае как самый обыкновенный конденсатор. Возможность паразитного самовозбуждения является крупным недостатком данной схемы.



Фиг. 18. Схема кварцевого генератора для работы на механических гармониках.

Налаживание кварцевого генератора с использованием механических гармоник кварца производится следующим образом. Анодный контур настраивают приблизительно на частоту выбранной механической гармоники, а индуктивность в цепи сетки подбирают такой, чтобы показания миллиамперметра постоянного тока, включаемого при налаживании в цепь сетки, были максимальными (прибор должен иметь шкалу на 0—1 *ма*). Затем, плавно изменяя настройку анодного контура, наблюдают за показаниями миллиамперметра. Если сеточный ток изменяется также плавно, то это

значит, что колебания возникают без участия кварцевого резонатора. Признаком кварцевой стабилизации служит резкий провал в кривой сеточного тока, граничащий с острым пиком, который заметен только на низких номерах гармоник (до 9-й—11-й). Вблизи этого пика частота колебаний контролируется кварцем. Следует отметить, что на механических гармониках возбуждаются далеко не все пластины, а только те из них, которые наиболее интенсивно колеблются на основной частоте.

Возбуждение кварцевых резонаторов на механических гармониках позволяет выделить в анодной нагрузке генератора мощность, соизмеримую с мощностью на основной частоте кварца.

## 7. МОДУЛЯЦИЯ В ПЕРЕДАТЧИКАХ

В настоящее время любительские ультракоротковолновые передатчики, как правило, рассчитываются на телефонную работу. При телефонной работе используются модулированные колебания высокой (ультравысокой) частоты.

Под модуляцией понимается управление излучаемыми колебаниями посредством изменения их амплитуды, частоты или фазы. В соответствии с этим существует несколько видов модуляции. Наибольшее распространение получили амплитудная и частотная модуляции.

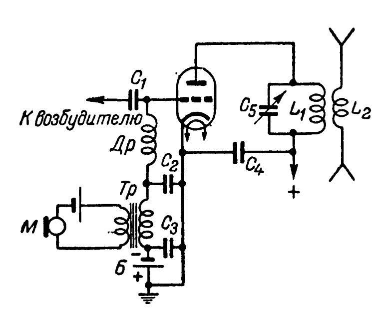
При амплитудной модуляции амплитуда тока высокой частоты в антенне передатчика меняется по закону звуковых колебаний, воспринимаемых микрофоном. Если модулирующее напряжение звуковой частоты отсутствует, излучаются колебания лишь одной так называемой несущей частоты. При модуляции передатчика какой-либо звуковой частотой излучается уже не одна частота, как это имело место при отсутствии модуляции, а три: несущая и две боковые. Каждая из боковых частот отстоит от несущей на величину модулирующей звуковой частоты.

При передаче речи или музыки передатчик модулируется не одной звуковой частотой, а многими, поэтому количество боковых частот резко возрастает; излучается уже целый спектр частот, состоящий из несущей частоты и двух боковых полос.

Амплитудная модуляция — исторически первый вид модуляции, однако она и поныне господствует в диапазонах длинных, средних и коротких волн. Это объясняется тем, что частотный спектр амплитудно-модулированного сигнала сравнительно узок, вследствие чего радиостанция занимает

относительно небольшую полосу частот и в диапазоне можно разместить наибольшее число станций.

В радиолюбительской практике модуляция обычно производится в оконечной ступени передатчика и реже в предоконечной. Модулирующее напряжение можно подавать на различные электроды лампы. Существует модуляция на управляющую сетку (сеточная модуляция смещением), модуляция на экранную сетку лампы, анодная модуляция и модуляция на защитную сетку. Мы не будем разбирать все эти виды амплитудной модуляции; отметим только, что простейшим из них является сеточная модуляция, а наиболее совершенным — анодная.




Фиг. 19. Простейшая схема сеточной модуляции.

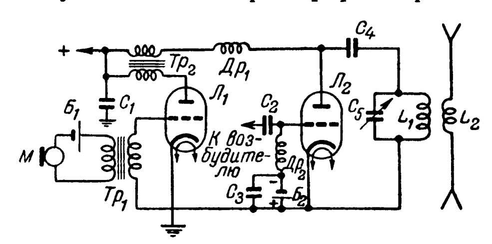
В настоящее время на ультракоротких волнах широко применяется частотная модуляция. Однако в радиолюбительской практике амплитудная модуляция пока еще находит применение, поэтому в качестве примера приводим простейшие схемы сеточной и анодной модуляции.

На фиг. 19 показана простейшая схема модуляции на управляющую сетку. Напряжение высокой частоты подается на сетку лампы через конденсатор $C_1$, а отрицательное смещение — через вторичную обмотку микрофонного (модуляционного) трансформатора *Тр* и высокочастотный дроссель *Др*. В первичную обмотку трансформатора включен микрофон *М*. Таким образом, напряжение на сетке складывается из постоянного напряжения смещения и переменного напряжения звуковой частоты, снимаемой со вторичной обмотки трансформатора. Конденсатор $C_2$, шунтирующий вторичную обмотку трансформатора, предназначен для предохранения модулирующего устройства от воздействия токов высокой частоты. Емкость конденсатора $C_2$ не должна превышать 500—1 000 *мкмкф*, иначе его сопротивление для токов звуковой частоты окажется слишком малым и частотная характеристика передатчика будет ухудшена. Конденсатор $C_3$, шунтирующий батарею смещения *Б*, служит для предохранения цепей смещения от токов звуковой частоты и создания этим токам пути к катоду лампы. Схема обеспечивает достаточную глубину модуляции (под коэффициен-

том глубины модуляции понимают отношение приращения амплитуды тока в антенне при модуляции к величине амплитуды при отсутствии модуляции) только при малой мощности передатчика и большой э. д. с., развиваемой микрофоном.

Коэффициент трансформации микрофонного трансформатора *Тр* выбирается в пределах 1 : 25 — 1 : 50. В случае повышенной мощности передатчика напряжение звуковой частоты усиливается посредством специального микрофонного (модуляционного) усилителя. Коэффициент трансформации выходного трансформатора такого усилителя рекомендуется выбирать порядка 1 : 1—4 : 1.

На фиг. 20 представлена простейшая схема анодной модуляции с модуляционным трансформатором. В анодную




Фиг. 20. Простейшая схема анодной модуляции.

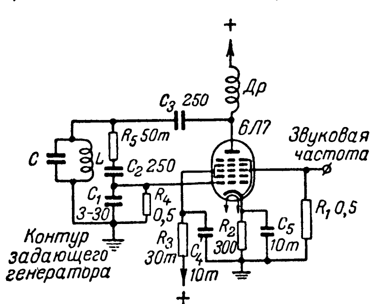
цепь лампы генератора $Л_2$ последовательно с источником питания и высокочастотным дросселем $Др_1$ включена вторичная обмотка модуляционного трансформатора $Тр_2$, который одновременно служит выходным трансформатором усилителя звуковой частоты. Напряжение на аноде лампы $Л_2$ складывается из постоянного анодного напряжения и переменного напряжения низкой частоты, наводимого во вторичной обмотке модуляционного трансформатора. Мощность модуляторной лампы должна приблизительно равняться мощности лампы генератора. В мощных передатчиках целесообразно применять двухтактные схемы модуляторов.

Перейдем к краткому описанию частотной модуляции. При частотной модуляции частота колебаний, излучаемых передатчиком, меняется в соответствии с звуковыми колебаниями. Отклонение частоты генерируемых колебаний от номинала (частотное отклонение) меняется пропорционально амплитуде модулирующего напряжения и не зависит от его частоты.

Амплитуда частотно-модулированного сигнала постоянна, поэтому мощность передатчика во время передачи не ме-

няется и равна его мощности в телеграфном режиме. Это крупное достоинство частотной модуляции. К числу преимуществ частотной модуляции относится также высокая помехоустойчивость и возможность амплитудного ограничения, которое служит эффективным средством в борьбе с помехами.

В то время как при амплитудной модуляции управление колебаниями, как правило, осуществляется в оконечной ступени передатчика, в случае частотной модуляции большей частью модулируется задающий генератор. Модуляция осуществляется с помощью частотного модулятора, функции которого заключаются в изменении частоты задающего генератора в соответствии с звуковыми колебаниями.




Фиг. 21. Схема реактивной лампы.

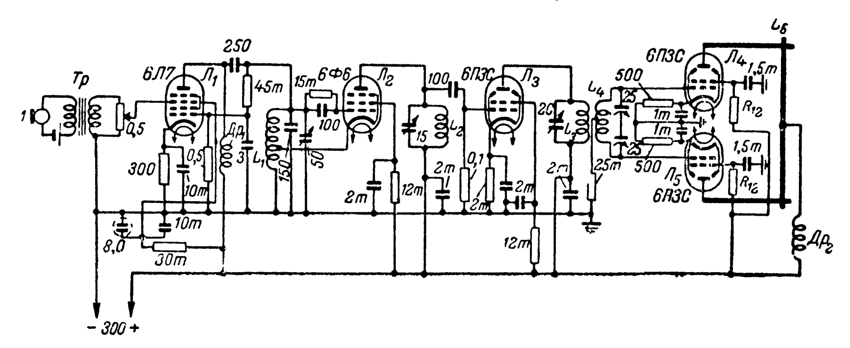
Рассмотрим вкратце наиболее распространенную схему модулятора с реактивной лампой.

Под реактивной лампой понимается ламповая ступень, имеющая реактивное выходное сопротивление, которое в зависимости от схемы может носить как индуктивный, так и емкостный характер. В реактивной лампе между напряжением и током в выходной цепи существует сдвиг фаз, близкий к 90°. При изменении режима реактивной лампы сдвиг фаз меняется в некоторых пределах, вследствие чего изменяются эквивалентная индуктивность или емкость лампы. Если выход реактивной лампы присоединить к контуру задающего генератора, частота генерируемых колебаний будет меняться в соответствии с звуковыми колебаниями, подаваемыми на вход модулятора.

На фиг. 21 дана практическая схема реактивной лампы со всеми данными. Чувствительность модулятора, равная отношению частотного отклонения к напряжению звуковой частоты на входе реактивной лампы, зависит от величины емкости $C_1$. Применение данной схемы позволяет получить достаточно большое частотное отклонение (более 20 *кгц*) при двух-трех ступенях умножения.

На фиг. 22 приведена принципиальная схема любительского ультракоротковолнового передатчика с частотной модуляцией. Передатчик состоит из четырех ламповых ступе-

ней: лампа $Л_1$ — частотный модулятор, собранный по схеме реактивной лампы; $Л_2$ — задающий генератор с электронной связью, работающий в режиме удвоения частоты; $Л_3$ — удвоитель; $Л_4$ и $Л_5$ — оконечный двухтактный усилитель, работающий в режиме удвоения (или утроения) частоты. Анодной нагрузкой усилителя служит резонансная двухпроводная линия. Выходная мощность передатчика порядка 4 *вт*. Частотное отклонение около 25 *кгц*.




Фиг. 22. Схема передатчика с частотной модуляцией.

Дроссели: $Др_1$—100 витков провода ПЭ 0,12 на каркасе диаметром 10 *мм*; $Др_2$—20 витков провода ПЭ 0,5 на каркасе диаметром 10 *мм*.

Передатчик весьма прост и дает удовлетворительные результаты. Его недостатком является применение ламп 6П3С в ступенях умножения частоты и оконечного усиления. При использовании специальных типов ультракоротковолновых ламп, например, двойных тетродов ГУ-29 и ГУ-32, указанная схема станет устойчивее в работе и позволит получить большую выходную мощность.

Более сложная и совершенная схема передатчика будет описана в параграфе «Проектирование любительских ультракоротковолновых передатчиков».

## 8. ПИТАНИЕ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

От источника питания во многом зависит качество работы радиопередатчика. Плохая фильтрация постоянных напряжений вызывает паразитную модуляцию сигнала переменным током; недостаточная мощность источников питания или их слишком высокое внутреннее сопротивление приводят к чрезмерным колебаниям напряжений питания при телеграфной работе. Как отмечалось выше, изменения питающих напряжений относятся к числу наиболее серьезных

дестабилизирующих факторов. Поэтому к источникам питания современных передающих радиостанций предъявляются весьма жесткие требования.

Можно рекомендовать следующие меры по стабилизации напряжений источников питания:

1. Правильный выбор мощности силовых трансформаторов и автотрансформаторов с целью уменьшить падения напряжений на их обмотках.

2. Использование резонансных ферромагнитных и иных стабилизаторов переменного напряжения.

3. Питание накала ламп задающего генератора от самостоятельного трансформатора, а в некоторых случаях и стабилизация напряжения накала посредством бареттеров.

4. Питание анодных цепей задающего генератора от стабилизованного выпрямителя.

Рекомендованные выше меры относятся главным образом к питанию задающих генераторов. Изменения напряжений источников питания промежуточных и оконечной ступеней передатчика влияют на частоту излучаемых колебаний намного слабее, поэтому надобность в стабилизации этих напряжений отсутствует. Значительно меньшие требования предъявляются также и к качеству фильтрации анодного напряжения оконечной ступени.

Схемы выпрямителей для питания мощных ступеней различны. Выбор того или иного типа выпрямителя зависит от мощности передатчика. Питание передатчиков мощностью в 5 *вт* в виде исключения можно производить от одного кенотронного выпрямителя, причем напряжение на анод мощной ступени следует снимать до дросселя фильтра. Возможно применение и селеновых выпрямителей. Питание двадцативаттных передатчиков рационально производить от двух кенотронных выпрямителей, один из которых питает задающий генератор и промежуточные ступени, а другой — выходную ступень. Для питания выходной ступени стоваттного передатчика обычно используются газотронные выпрямители.

К достоинствам последних относится малое внутреннее сопротивление газотронов и их меньшие размеры по сравнению с кенотронами при одинаковых с ними параметрах.

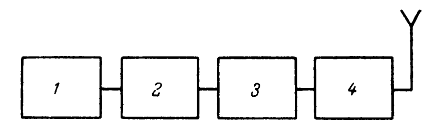
Следует помнить, что газотронные выпрямители должны работать на индуктивную нагрузку. Поэтому фильтры в таких выпрямителях делаются не П-, а Г-образными и начинаются не с конденсатора, а с дросселя.

Отметим также, что излишне большая индуктивность дросселей в цепях постоянного тока передатчика вызывает перенапряжения на фильтре выпрямителя и служит одной из причин возникновения щелчков при телеграфной работе, поэтому при переходе с телефонного режима на телеграфный имеет смысл шунтировать дроссель сопротивлением.

## 9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

В задачи проектирования любительского радиопередатчика входит выбор его схемы, типа генераторных ламп, вида модуляции или манипуляции (при телеграфной работе), а также приближенный энергетический расчет режима работы и элементов схемы.

Энергетический расчет передатчиков подробно рассматривался в радиотехнической литературе как специальной, так и любительской; в основных чертах он применим к ультракоротковолновым генераторам на триодах или тетродах, работающим на волнах порядка нескольких метров.




Фиг. 23. Скелетная схема передатчика с независимым возбуждением.
1 — задающий генератор; 2 — буферная ступень; 3 — умножитель частоты; 4 — оконечный усилитель.

Выбор схемы передатчика, вида колебательной системы, количества ступеней, типа ламп и т. д. производится на основании технических требований к разрабатываемой конструкции — длины волны, полезной мощности, стабильности частоты колебаний, размеров установки и т. п.

Радиолюбительские ультракоротковолновые передатчики, как и все иные типы ламповых передатчиков, подразделяются на две группы: с самовозбуждением и с независимым возбуждением. В передатчиках с самовозбуждением колебательный контур непосредственно связан с антенной, которая и является его полезной нагрузкой. Генераторы с независимым возбуждением усиливают колебания, поступающие от возбудителя — источника высокочастотной энергии.

Скелетная схема передатчика с независимым возбуждением показана на фиг. 23. В качестве задающего генератора используется генератор с самовозбуждением. Буферная ступень представляет собой апериодический усилитель с малым коэффициентом усиления по напряжению. Умножитель частоты служит для выделения желаемой гармоники частоты

возбудителя. Оконечный усилитель предназначен усиливать мощность сигнала.

К достоинствам передатчиков с самовозбуждением относится их простота, недостатком же является более низкая стабильность частоты по сравнению с передатчиками, собранными по схемам независимого возбуждения. Так как передатчики с самовозбуждением работают непосредственно на антенну, реактивные параметры последней, суммируясь с реактивными элементами колебательного контура, оказывают на его частоту существенное влияние. Активная проводимость антенны шунтирует контур, снижая его добротность, что в конечном счете также приводит к ухудшению стабильности частоты генерируемых колебаний. В передатчиках с самовозбуждением потребная полезная мощность реализуется одной ламповой ступенью, последующее усиление колебаний отсутствует, поэтому требования к отдаваемой такими передатчиками мощности вступают в противоречие с требованиями в отношении стабильности частоты генерируемых ими колебаний.

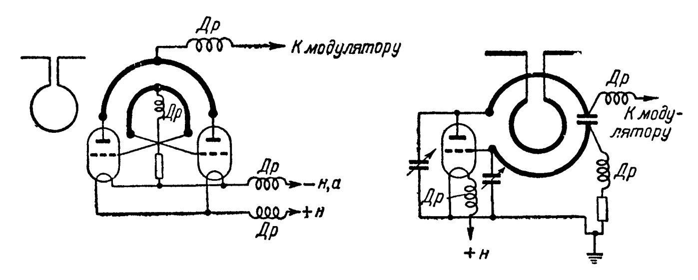
В передатчиках с независимым возбуждением задающий генератор делается обычно маломощным, а его лампа ставится в легкий режим. При этом уменьшается разогрев деталей задающего генератора, вследствие чего повышается стабильность частоты генерируемых им колебаний. Кроме того, для повышения стабильности частоты связь задающего генератора с нагрузкой делается слабой, применяются буферные ступени с коэффициентом усиления напряжения порядка единицы, по возможности устраняются сеточные токи как в самом задающем генераторе, так и в буферной ступени. Частота колебаний, генерируемых задающим генератором, выбирается обычно в несколько раз более низкой, чем рабочая частота передатчика, так как на более низких частотах облегчается параметрическая стабилизация, уменьшается влияние паразитных емкостных связей и дестабилизирующих факторов, повышается добротность электрических колебательных контуров и становится возможным использование кварцевых резонаторов.

В настоящее время передатчики с самовозбуждением почти полностью вытеснены передатчиками, построенными по схемам независимого возбуждения, и применяются только в тех случаях, когда главную роль играют простота и компактность конструкции, как, например, в миниатюрных маломощных передатчиках для репортажа. Такие передатчики рассчитываются на телефонную работу с анодной

модуляцией. На фиг. 24 даны две простейшие схемы ультракоротковолновых передатчиков с самовозбуждением.

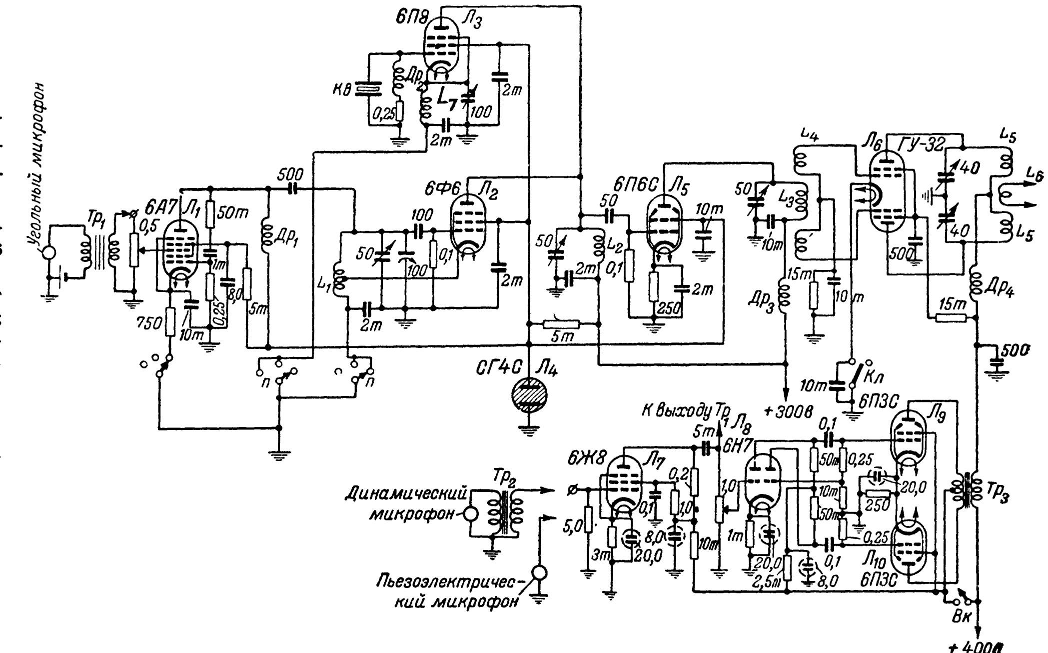
На фиг. 25 представлена схема ультракоротковолнового передатчика с независимым возбуждением, рассчитанного на телеграфную и телефонную работу как с амплитудной, так и с частотной модуляцией.

Передатчик содержит 10 ламп, включая газовый стабилизатор напряжения. Функции ламп (ламповых ступеней) распределяются следующим образом. $Л_1$ (6А7) — частотный модулятор, собранный по схеме реактивной лампы. $Л_2$ (6Ф6) — задающий генератор, собранный по схеме с электронной связью. Контур в сеточной цепи генератора на-




Фиг. 24. Типовые схемы передатчиков с самовозбуждением.

строен на частоту порядка 21,5 *мггц*, анодный контур — на 43 *мггц*. $Л_3$ (6П9) — задающий генератор с кварцевой стабилизацией. Контур в катоде лампы кварцевого генератора настроен на частоту, несколько превышающую частоту кварца (10,75 или 21,5 *мггц*). Кварцевый генератор используется при телеграфной работе, а также при работе телефоном с амплитудной модуляцией. В последнем случае может также применяться и генератор с плавной настройкой. $Л_4$ (СГ4С) — газовый стабилизатор, стабилизирующий напряжение на экранных сетках ламп задающих генераторов и частотного модулятора. $Л_5$ (6П6С) — удвоитель. Контур в анодной цепи удвоителя настроен на частоту 86 *мггц*. Связь с оконечной ступенью индуктивная. $Л_6$ (ГУ-32) — двухтактный усилитель мощности. Контур в анодной цепи усилителя мощности настроен на частоту 86 *мггц*. Телеграфная манипуляция осуществляется в цепи катода. Амплитудная модуляция анодно-экранная. $Л_7$ (6Ж8) — предварительная ступень усиления усилителя-модулятора, применяемого при амплитудной модуляции. Она используется при работе с динамическим или пьезоэлектрическим




Фиг. 25. Схема передатчика для телефонной и телеграфной работы.

Ориентировочные данные катушек: $L_1$—6 витков диаметром 20 *мм* с отводом от второго витка снизу; $L_2$—5 витков диаметром 15 *мм*; $L_3$—4 витка диаметром 15 *мм*; $L_4$—2×2 витка диаметром 15 *мм*; $L_5$—2×2 витка диаметром 20 *мм*; $L_6$—1 виток диаметром 25 *мм*; $L_7$ (для кварца на частоту 10,75 *мггц*)—30 витков диаметром 15 *мм*.

Дроссели: $Др_1$, $Др_2$, $Др_3$ и $Др_4$—по 2 *мгн*.

микрофонами. $Л_8$ (6Н7С) — усилитель напряжения (первый триод) и фазопереворачивающая ступень (второй триод). $Л_9$ и $Л_{10}$ (6П3С) — двухтактный усилитель мощности звуковой частоты, работающий в классе $AB_2$.

Переход с одного режима работы на другой производится с помощью переключателя *П*, отключающего катодные цепи частотного модулятора и задающего генератора, а также цепь анодного питания амплитудного модулятора.

Выходная мощность описываемого передатчика при телеграфной работе и при работе телефоном с частотной модуляцией порядка 20 *вт*, а при амплитудной модуляции — около 12 *вт*.

Описанная схема не предназначена для точного ее воспроизведения радиолюбителями, однако она может служить основой при разработке самостоятельной конструкции как более простой, так и более сложной.

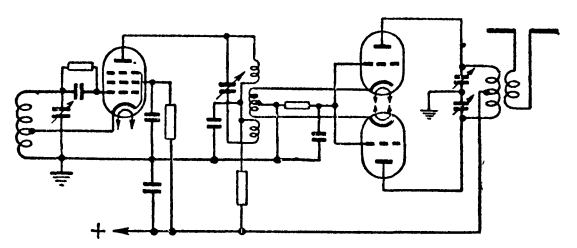
В многоступенных ультракоротковолновых передатчиках целесообразно использовать усилительные ступени с заземленными сетками. Схема усилителя с заземленной сеткой была предложена известным советским ученым М. А. Бонч-Бруевичем еще в 1929 г. В диапазоне ультравысоких частот эта схема имеет определенные преимущества перед обычной схемой усилительной ступени с заземленным по высокой частоте катодом.

В схеме с заземленной сеткой управляющая сетка лампы находится под нулевым потенциалом высокой частоты, а напряжение возбуждения подается на катод, который, таким образом, служит сигнальным электродом. В этой схеме нагрузка включается между анодом и сеткой (а не между анодом и катодом, как в обычных схемах), поэтому управляющая сетка служит экраном, ослабляющим связь между входной и выходной цепями ступени. Емкость промежутка анод—сетка не является причиной возникновения паразитной обратной связи, как это имеет место в обычных усилителях, поэтому нейтрализации (уравновешивания) этой емкости не требуется и схема работает устойчиво, позволяя использовать не только пентоды и тетроды, но и триоды. Обратная связь в усилителе с заземленной сеткой обусловливается емкостью между анодом и катодом лампы, однако эта емкость мала и на метровых волнах недостаточна для самовозбуждения ступени.

В усилителях с заземленными сетками наблюдается глубокая отрицательная обратная связь по току, уменьшающая усиление ступени. Поэтому усилитель мощности, собранный

по схеме с заземленной сеткой, требует в несколько раз большей мощности возбуждения по сравнению с обычной схемой. Ступень с заземленной сеткой имеет малое входное и большое выходное сопротивление и в этом отношении подобна повышающему трансформатору. Это следует учитывать при согласовании входа усилителя с выходным контуром предыдущей ступени.

Усилители с заземленными сетками могут быть как однотактными, так и двухтактными. В качестве примера приводим простую схему ультракоротковолнового передатчика, выходная ступень которого собрана на триодах по двухтактной схеме усилителя с заземленной сеткой (фиг. 26).




Фиг. 26. Схема двухтактного усилителя с заземленной сеткой.

В процессе конструирования ультракоротковолновых передатчиков большое внимание следует уделять качеству деталей и правильному их расположению. Детали должны быть расположены так, чтобы соединительные проводники были возможно короче, а паразитные связи и влияния минимальны. Необходимо позаботиться, чтобы контур возбудителя был, по возможности, удален от нагревающихся деталей либо защищен от нагрева экраном, а детали передатчика были влагостойкими.

Наиболее подходящим материалом для изготовления шасси является кадмированная латунь, обладающая высокой проводимостью и не склонная к окислению; менее пригодна сталь, а применение алюминия или дюралюминия вообще нельзя признать желательным, так как поверхность алюминия и его сплавов покрыта плотной пленкой окислов, которая затрудняет пайку и, будучи плохим проводником, снижает надежность электрических контактов.

Монтаж передатчика должен вестись жестким одножильным проводом из посеребренной меди. Желательно, чтобы питающие напряжения подводились посредством шин — широких полосок латуни, отделенных от шасси слю-

дяными прокладками и обладающих по отношению к нему достаточно большой распределенной емкостью.

Дроссели в цепях катодов передатчиков с самовозбуждением (фиг. 24) косвенно входят в их колебательные системы; при изменении индуктивности дросселей меняется режим работы генератора и в некоторой мере частота генерируемых колебаний. Поэтому дроссели, как и колебательные контуры, должны обладать высокими эталонными свойствами и малыми потерями. Их следует изготавливать из толстого медного провода.

На ультравысоких частотах повышаются требования к изоляционным материалам. Изоляторы, применяемые на более низких радиочастотах (карболит, гетинакс и т. д.), ухудшают свои изоляционные свойства на ультракоротких волнах. Материалы с большой диэлектрической проницаемостью служат причиной увеличения паразитных емкостей. Наименьшими потерями в диэлектрике на ультравысоких частотах обладают изоляторы из радиофарфора, применение которых дает наилучшие результаты. Органическое стекло (плексиглас) может применяться только при малых мощностях. В случае сравнительно большой мощности передатчика (свыше 50 *вт*) напряженность поля, окружающего изолятор, велика и частотный нагрев изолятора приводит к размягчению органического стекла и деформации детали.

## 10. НАЛАЖИВАНИЕ ПЕРЕДАТЧИКОВ

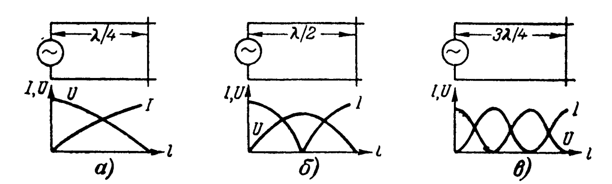
Налаживание передатчика — заключительная стадия в его разработке и изготовлении. Экспериментальному налаживанию придается особенно большое внимание, так как в любительских условиях наивыгоднейшие данные элементов схемы можно подобрать только опытным путем.

Налаживание простейших передатчиков метровых волн с самовозбуждением может производиться практически без приборов. Оно сводится главным образом к подгонке длины волны генерируемых колебаний. Такую подгонку при отсутствии волномера проще всего осуществить с помощью двухпроводной длинной линии.

В короткозамкнутых линиях конечной длины устанавливаются стоячие волны, которые образуются в результате сложения волны падающей, распространяющейся от источника колебаний к нагрузке, с волной отраженной, возвращающейся от нагрузки к источнику. Стоячие волны характеризуются синусоидальным изменением напряжения и тока в линии и наличием узлов, в которых величины этих пара-

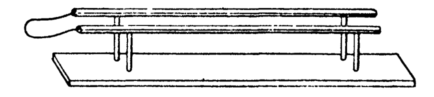
метров равны нулю, а также пучностей, где величины напряжения или тока максимальны. Положения узлов и пучностей при данной длине волны и неизменности условий работы линии остаются постоянными, причем узлы напряжения совпадают с пучностями тока, и, наоборот, узлы тока соответствуют пучностям напряжения.

На фиг. 27,*а* показан характер изменения напряжения и тока в короткозамкнутой линии в $^1/_4$ длины волны,




Фиг. 27. Распределение напряжения и тока в длинных линиях.

фиг. 27,*б* соответствует случаю полуволновой короткозамкнутой линии и, наконец, фиг. 27,*в* характеризует работу линии в $^3/_4$ длины волны. Из данных фигур следует, что расстояние между двумя соседними узлами или пучностями равно $^1/_2$ длины волны. На этом основан принцип измерения длин волн с помощью длинных линий.



Фиг. 28. Конструкция самодельной измерительной линии.

Конструкция самодельной измерительной линии показана на фиг. 28. Линия состоит из двух голых медных проводников как можно большего диаметра или, что предпочтительнее, трубок. Длина линии должна быть больше измеряемой длины волны не менее чем в 1,5 раза, а расстояние между проводниками порядка нескольких сантиметров. Начало линии соединено с петлей связи, через которую в линию поступает энергия из генератора. Вдоль линии может перемещаться короткозамыкающаяся перемычка, в которую включена лампочка на 1 *в* 0,075 *а*, служащая индикатором. При перемещении перемычки лампочка периодически загорается или гаснет. Расстояние между петлей связи и контуром генератора подбирается таким образом, чтобы свечение лампочки в пучностях напряжения было не особенно ярким. Это позволяет более точно фиксировать положения перемычки, соответствующие самому интенсивному свече-

нию лампочки. Передвигая перемычку от начала линии к ее концу, отмечают те положения, при которых лампочка светится наиболее ярко. Как было упомянуто выше, расстояние между двумя соседними положениями максимального свечения равно половине длины волны колебаний, подводимых к линии. Для повышения точности измерения отмечаются крайние положения наиболее яркого свечения лампочки. Тогда длина волны определяется по формуле

$$\lambda = \frac{2l}{n - 1},$$

где $l$ — расстояние между выбранными положениями максимального свечения лампочки, а

$n$ — число положений максимального свечения на участке линии между выбранными положениями перемычки, включая эти положения

Применение лампочки в качестве индикатора дает достаточно высокую точность измерения; дальнейшее повышение точности может быть достигнуто применением в качестве индикатора высокочастотного микроамперметра.

Следует помнить, что подключение антенны к самовозбуждающемуся передатчику, а также изменение связи антенны с передатчиком приводят к отклонению длины его волны.

Более удобна настройка передатчика с помощью резонансного волномера метровых волн.

Настройка передатчиков с независимым возбуждением, имеющих несколько ступеней, более сложна и требует применения измерительных приборов. Для налаживания таких передатчиков желательно иметь следующие приборы: 1) универсальный прибор для измерения постоянных и 50-периодных переменных токов и напряжений, а также сопротивлений; 2) катодный вольтметр для измерения напряжений высокой или ультравысокой частоты; 3) резонансный волномер или градуированный приемник.

Налаживание производят в следующей последовательности:

1. Тщательно проверяют монтаж схемы, правильность соединений и измеряют посредством омметра сопротивления различных цепей.

2. Включают напряжения питания и измеряют величины напряжений на анодах ламп, а также напряжения накала и отрицательные смещения на управляющих сетках.

3. С помощью волномера настраивают задающий генератор.

4. Последующие ступени настраивают по показаниям миллиамперметров, включенных в анодные или сеточные цепи ламп. Минимум показаний анодного миллиамперметра и максимум показаний прибора в цепи сетки (при работе с сеточными токами) соответствуют точной настройке ступени на частоту (или гармонику) задающего генератора. Глубина спадания анодного тока при настройке ступени зависит от режима ее работы. При слишком большой нагрузке это спадание может быть незаметным, поэтому лучшие результаты дает настройка на максимум показаний лампового вольтметра, подключенного к выходу ступени. Следует помнить, что миллиамперметры должны включаться в цепи постоянного тока и блокироваться конденсаторами. Ламповые вольтметры, наоборот, включаются в цепи высокой частоты, поэтому особое внимание должно быть обращено на то, чтобы проводники, соединяющие вольтметр с передатчиком, были как можно короче. Так как входная емкость катодного вольтметра довольно велика (порядка 5—7 *мкмкф*), она, будучи подключена параллельно контуру, изменяет его настройку. Чтобы уменьшить это влияние, необходимо включать вольтметр через конденсатор емкостью в 1—2 *мкмкф*. При этом градуировка шкалы вольтметра, конечно, нарушается, однако в данном случае знания абсолютных величин напряжений не требуется (пропорциональность же показаний сохраняется).

5. Ориентировочно определяют полезную мощность передатчика. Для этой цели используют лампочки накаливания, замкнутые на виток провода. Подбором связи витка с выходным контуром передатчика добиваются наиболее яркого свечения лампочки (в некоторых случаях приходится подбирать и число витков катушки связи для согласования контура с нагрузкой). По яркости свечения и мощности лампочки можно приближенно судить о полезной мощности передатчика.

6. С помощью высокочастотного миллиамперметра (амперметра), включенного в антенну, подбирают наивыгоднейшую связь последней с передатчиком. Наивыгоднейшая связь соответствует наибольшему току в антенне.

По мере повышения генерируемой частоты возрастает опасность паразитного самовозбуждения ступени, характер и причины возникновения которого могут быть различны. Проверить передатчик на отсутствие паразитных колебаний

нетрудно. Для этого достаточно сорвать колебания в задающем генераторе. Если при этом на выходе передатчика будет обнаружено напряжение высокой частоты, значит в схеме существует паразитное самовозбуждение.

Рекомендуемый метод можно применять лишь при фиксированном смещении на управляющих сетках ламп генератора или автоматическом смещении за счет катодного тока. При автоматическом смещении за счет сеточного тока этот метод непригоден, так как выключение задающего генератора может вызвать резкое возрастание анодного тока последующих ламп, в результате чего они могут выйти из строя.

Чтобы убедиться в отсутствии паразитного самовозбуждения при автоматическом смещении за счет сеточного тока ламп, следует уменьшить амплитуду возбуждающего напряжения (или, что равноценно, расстроить задающий генератор).

Если при этом напряжение высокой частоты на выходе передатчика несколько снизится, то возбуждение (по крайней мере, ярко выраженное) отсутствует. Если же при значительном уменьшении напряжения возбуждения выходное напряжение высокой частоты не снижается, то в передатчике имеют место паразитные колебания.

Наличие паразитного самовозбудения можно также установить с помощью приемника.

Для того чтобы предупредить возможность возникновения паразитных колебаний в передатчике, необходимо тщательно заэкранировать высокочастотные цепи, заблокировать источники питания дросселями и конденсаторами, включить в анодные и сеточные цепи (последовательно с анодом или сеткой) сопротивления (примерно по 10 *ом*) или дроссели, сократить, по возможности, число контуров, настроенных на одну и ту же частоту, рационально расположить детали и монтажные проводники и т. п.

Нередко самовозбуждение усилительных ступеней передатчика происходит за счет паразитной обратной связи через междуэлектродные емкости ламп. В обычных усилительных схемах паразитная обратная связь осуществляется, как было уже отмечено, через емкость анод—сетка, а в схемах усилителей с заземленной сеткой — через емкость анод—катод лампы. В последней схеме самовозбуждение возникает лишь на дециметровых волнах, где величина емкости анод—катод оказывается достаточной для возникновения колебаний.

Способы нейтрализации междуэлектродных емкостей в обычных схемах описаны в ряде руководств по передающим устройствам. При использовании усилительных схем с заземленной сеткой необходимо следить за тем, чтобы емкость между цепями анода и катода лампы была как можно меньше.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

# РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА МЕТРОВЫХ ВОЛН

## 1. СОБСТВЕННЫЕ ШУМЫ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Как уже отмечалось, по мере повышения частоты колебаний уровень шумов, воспринимаемых антенной радиоприемника, уменьшается. На частотах ниже 15 *мггц* эти внешние шумы объясняются в основном атмосферными явлениями, а на более высоких частотах космической радиацией.

В диапазонах длинных, средних и коротких волн внешние шумы во много раз интенсивнее собственных шумов приемника, в то время как на ультракоротких волнах при отсутствии индустриальных помех и помех от систем зажигания автотранспорта шумы ламп, деталей и контуров приемника приобретают преобладающее значение. На частотах выше 70 *мггц* уровень внешних шумов настолько мал, что им можно пренебречь по сравнению с собственными шумами приемника и считать последние основным видом помех.

Уровень собственных шумов приемника накладывает ограничения на его чувствительность. Повышение чувствительности свыше определённой величины не дает положительных результатов, так как одновременно с полезным сигналом усиливаются и шумы. Практически прием возможен лишь в тех случаях, когда отношение сигнала к шумам достаточно велико. Так, при приеме незатухающих колебаний на слух (телеграф) наименьшее отношение сигнала к шумам, при котором сигналы еще разборчивы, колеблется в пределах от —5 до +5 *дб*, а при приеме амплитудно-модулированных телефонных сигналов от +10 до +15 *дб*. Очевидно, что чем меньше уровень шумов приемника, тем более слабые сигналы он может принимать. Поэтому одна из основных проблем радиоприема на ультракоротких волнах заключается в возможно большем снижении собственных шумов приемника.

Основной причиной возникновения шумов в ультракоротковолновых радиоприемниках являются лампы. Существует

три главных источника шумов электронных ламп: 1) флюктуации (мгновенные изменения) общего (катодного) тока лампы, 2) флюктуации, обусловленные перераспределением общего тока между анодом лампы и сетками, находящимися под положительным потенциалом относительно катода, 3) шумы, наведенные на входе лампы.

Флюктуации общего тока электронной лампы имеют место при любых частотах. Шумы, вызываемые распределением тока, также существуют независимо от частоты, причем их уровень повышается с увеличением числа сеток лампы. По этой причине применение многосеточных ламп на ультракоротких волнах нежелательно. Шумы, наведенные в цепи сетки, свойственны только ультракоротковолновому диапазону. Их возникновение объясняется влиянием времени пробега электронов, поэтому с увеличением частоты и времени пробега уровень наведенных шумов возрастает.

На метровых волнах могут использоваться обычные лампы. Однако при этом уровень шумов будет во много раз выше, чем в случае использования специальных ультракоротковолновых ламп (например, 6Ж1Ж, 6С1Ж и 6К1Ж) и разбираемость принимаемых сигналов ухудшится, а это, в конечном счете, потребует увеличения мощности передатчика-корреспондента.

Для удобства расчетов условно полагают, будто лампа сама по себе не создает шумов, а лишь усиливает их. При этом шумовое напряжение считается приложенным к сетке лампы.

Источник шумов, воздействующих на вход лампы, в свою очередь, представляют в виде «шумового» сопротивления, включенного между ее сеткой и катодом. Чем больше величина шумового сопротивления лампы, тем больше уровень шумов, фактически создаваемых ею.

Величины шумовых сопротивлений некоторых приемо-усилительных ламп даны в таблице, помещенной на третьей странице обложки этой книги.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Как известно, существует две основные группы радиоприемников: приемники прямого усиления и супергетеродины. Радиоприемникам прямого усиления свойственны два недостатка — сравнительно широкая полоса пропускания и малый коэффициент усиления, так как по мере повышения частоты усиление ламповой ступени падает. Эти недостатки значительно снижены в супергетеродинных приемниках.

В супергетеродине происходит преобразование высокой частоты принимаемого сигнала в сравнительно низкую промежуточную частоту. Полоса пропускания усилителя промежуточной частоты во много раз у́же полосы высокочастотных контуров, а коэффициент усиления ступени на промежуточной частоте значительно выше, чем на высокой.

Преобразование частоты происходит в преобразовательной (смесительной) ступени приемника. Промежуточная частота $f_{пр}$ представляет собой разность частот принимаемого сигнала и вспомогательного генератора (гетеродина). Колебания промежуточной частоты выделяются в нагрузке преобразователя, если частота колебаний гетеродина отличается от частоты принимаемых сигналов на промежуточную частоту. Это может быть в двух случаях: когда частота колебаний гетеродина превышает частоту принимаемых сигналов и когда частота колебаний гетеродина ниже частоты принимаемых сигналов. Поэтому при любой настройке возможен прием одновременно двух радиостанций, причем частота одной из них выше частоты гетеродина, а другой — ниже.

Таким образом, помимо основного канала, в супергетеродинном приемнике имеется еще другой, зеркальный канал, служащий серьезным источником помех. Разница между частотами основного и зеркального каналов равна $2f_{пр}$. Входные цепи и высокочастотные контуры супергетеродина настраиваются на частоту основного канала, поэтому сигналы зеркального канала оказываются значительно ослабленными. Уровень зеркальной помехи тем ниже, чем у́же полоса пропускания высокочастотных контуров приемника и выше промежуточная частота. Однако по мере повышения $f_{пр}$ уменьшается усиление усилителя промежуточной частоты и расширяется его полоса пропускания. Поэтому чрезмерное повышение промежуточной частоты нежелательно.

В борьбе с зеркальным каналом значительно лучшие результаты дает двойное преобразование частоты. Первая промежуточная частота выбирается достаточно высокой для того, чтобы устранить зеркальный канал, а вторая — сравнительно низкой по соображениям, которые уже были приведены выше.

В любительской радиосвязи на ультракоротких волнах использование приемников прямого усиления имеет место главным образом в портативных передвижных установках,

причем такие приемники собираются по сверхрегенеративным схемам.

Сверхрегенеративные приемники были известны и находили применение еще в первые годы развития радиотехники. Затем в силу присущих им недостатков, которые особенно заметны на длинных и средних волнах, они были полностью вытеснены регенераторами и супергетеродинами. К идее сверхрегенерации возвратились лишь тогда, когда началось развитие техники ультравысоких частот.

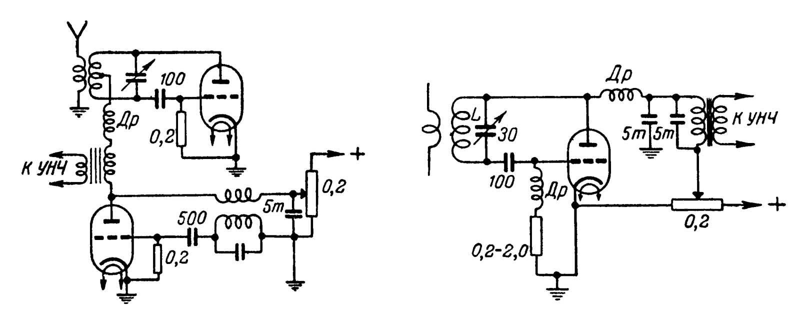
В обычном регенеративном приемнике во время приема модулированных колебаний обратную связь устанавливают до порога возникновения колебаний. Чем ближе рабочая точка к порогу генерации, тем выше чувствительность приемника, но тем ниже его устойчивость. При малейшем изменении режима лампы (например, при повышении анодного напряжения) приемник может самовозбудиться. Колебания, которые при этом возникнут в регенераторе, создадут биения с принимаемыми колебаниями, и в телефонах будет прослушиваться свист, искажающий передачу.

Противоречия между условиями достижения максимальной чувствительности и наивысшей устойчивости разрешается в сверхрегенераторах. В сверхрегенеративных приемниках на сетку лампы помимо приходящего сигнала воздействует дополнительное переменное напряжение со сверхзвуковой частотой, периодически перемещающее рабочую точку так, что она колеблется возле порога возникновения колебаний.. Вследствие этого эквивалентное активное сопротивление контура принимает попеременно положительные и отрицательные значения и генерация носит прерывистый характер. Частота прерывания генерации обычно называется частотой гашения или гасящей частотой.

Сверхрегенеративные приемники подразделяются на два вида. В приемниках, принадлежащих к одному из этих видов, переменное напряжение, вводимое в цепь сетки детекторной лампы, генерируется отдельным генератором гасящей частоты. Типовая схема сверхрегенератора этого вида показана на фиг. 29. В приемниках другого вида прерывистая генерация достигается соответствующим выбором постоянной времени сеточной цепи (емкости конденсатора и сопротивления утечки сетки). Такие схемы называются схемами с самогашением. Типовая схема сверхрегенеративного приемника с самогашением показана на фиг. 30.

В сверхрегенераторах с отдельным источником гасящей частоты последняя постоянна и определяется настройкой

вспомогательного генератора. При отсутствии сигнала колебания в сверхрегенеративном контуре периодически возрастают по амплитуде и затем снова затухают, причем форма импульсов колебательного напряжения и их амплитуда остаются постоянными. Приходящие сигналы вызывают изменение формы импульсов и увеличивают амплитуду колебаний. Прирост амплитуды зависит от силы сигнала и при модуляции меняется в соответствии с его огибающей. Изменение прироста амплитуды колебательного напряжения на входе детектора вызывает соответствующее изменение вы-




Фиг. 29. Схема сверхрегенератора с отдельным источником гасящей частоты.

Фиг. 30. Схема сверхрегенератора с самогашением. Катушка $L$ состоит из шести витков провода диаметром 10 *мм*.

прямленного напряжения на его выходе. При этом возможны два режима работы сверхрегенератора.

Если во время прерывистой генерации колебания успевают достигнуть состояния равновесия, прежде чем начинается гашение, то между выпрямленным напряжением на выходе детектора и амплитудой приходящего сигнала существует логарифмическая зависимость. При таком режиме имеет место ограничение амплитуды, в результате чего чувствительность максимальна при малых амплитудах приходящего сигнала и понижается с их увеличением.

Если же во время прерывистой генерации колебания начинают гаситься раньше, чем они успевают достигнуть состояния равновесия, то напряжение на выходе детектора меняется пропорционально силе сигнала. В этом случае ограничение отсутствует и огибающая модулированного сигнала не претерпевает искажений. Однако такой режим менее желателен, так как при нем трудно добиться высокой чувствительности приемника.

В отличие от схем с отдельным генератором гасящей частоты в схемах с самогашением гасящая частота не постоянна. Приходящий сигнал ускоряет нарастание колебаний, но поскольку максимальная амплитуда, достигаемая ими, при этом не изменяется (она зависит только от постоянной времени сеточной цепи), прерывание генерации становится более частым. С увеличением силы сигнала гасящая частота возрастает. Выпрямленное напряжение на выходе детектора зависит от частоты прерывания генерации и, следовательно, меняется в соответствии с огибающей модулированного сигнала, причем зависимость между выходным напряжением и амплитудой приходящего сигнала подчиняется логарифмическому закону.

Для того чтобы сверхрегенератор был наиболее чувствителен, частота гашения должна находиться в определенном соотношении с частотой принимаемых колебаний. Если гасящая частота слишком высока, то время гашения недостаточно для достижения колебаниями максимальной амплитуды. Поэтому на длинных и средних волнах нельзя получить наиболее выгодного соотношения между принимаемой частотой и частотой гашения, так как в этом случае гасящая частота будет лежать в диапазоне звуковых частот и прослушиваться в виде свиста.

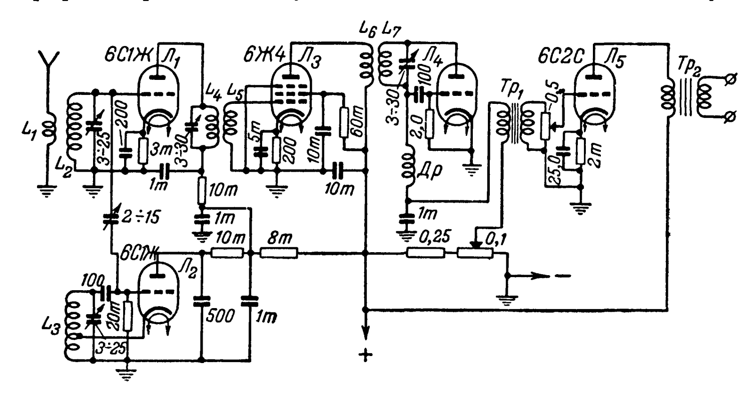
Оптимальное соотношение между принимаемой и гасящей частотами может быть практически получено только на коротких и ультракоротких волнах. При работе на 85—87 *мггц* наиболее выгодная частота гашения равна приблизительно 200 *кгц*.

Чувствительность сверхрегенеративного приемника может достигать величин порядка 2—3 *мкв*. Вследствие высокой чувствительности сверхрегенераторов флюктуации, существующие на входе приемника, усиливаются при отсутствии сигнала столь сильно, что в телефонах прослушивается характерный шум, исчезающий при настройке на радиостанцию.

Помимо высокой чувствительности сверхрегенераторов к их преимуществам относятся ослабление импульсных помех в результате ограничения, чрезвычайная простота и возможность удовлетворительного приема частотно-модулированных сигналов. Эти достоинства сверхрегенеративных приемников обусловливают их применение в передвижных ультракоротковолновых радиостанциях, где требуются малые размеры и вес, экономичность в питании и достаточно высокая чувствительность.

Недостатки сверхрегенераторов заключаются в малой избирательности, интенсивном излучении, низкой стабильности (при непосредственной связи сверхрегенеративного контура с антенной) и неудобстве в приеме немодулированных телеграфных сигналов, которые могут быть обнаружены и приняты только по периодическому снижению шума во время телеграфных посылок.

Для устранения паразитного излучения в антенну и повышения стабильности настройки сверхрегенератора между сверхрегенеративной ступенью и антенной включают ступень




Фиг. 31. Схема суперсверхрегенератора.

Данные катушек: $L_1$ — 4 витка; $L_2$ — 6,5 витка; $L_3$ — 4 витка с отводом от 1,5 витка (диаметр катушек $L_1$, $L_2$ и $L_3$ — 12 *мм*); $L_4$ и $L_5$ — по 12 витков (расстояние между ними около 5 *мм*); $L_6$ — 10 витков; $L_7$ — 15 витков (диаметр катушек $L_4$, $L_5$, $L_6$ и $L_7$ — 18 *мм*).

усиления высокой частоты. С аналогичной целью в цепи питания ставят дроссели или развязывающие фильтры.

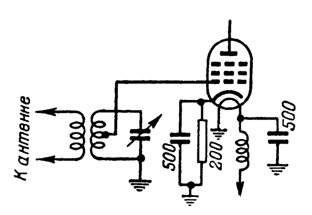
Недостатки сверхрегенератора в значительной мере ослаблены в так называемом суперсверхрегенеративном приемнике, представляющем собой супергетеродин со сверхрегенеративным детектором. На фиг. 31 показана одна из таких схем. Функции ламп в ней распределяются следующим образом: $Л_1$ — смеситель; $Л_2$ — гетеродин; $Л_3$ — ступень усиления промежуточной частоты; $Л_4$ (6С1Ж) — сверхрегенеративный детектор и ступень усилителя промежуточной частоты с большим коэффициентом усиления; $Л_5$ — усилитель низкой частоты. Промежуточная частота в суперсверхрегенеративном приемнике выбирается достаточно высокой — порядка 25—40 *мгц* для того, чтобы усиление сверхрегенеративной ступени было большим.

Суперсверхрегенеративные приемники, так же как и простые сверхрегенераторы, пригодны для приема частотно-модулированных сигналов. Для приема незатухающих колебаний (телеграфа) используется дополнительный (не показанный на схеме) гетеродин, частота которого отлична от промежуточной на 800—1 000 *гц*.

## 3. ВХОДНЫЕ ЦЕПИ ПРИЕМНИКОВ

Входные цепи приемников предназначены связывать антенну с управляющей сеткой первой лампы. Вместе с тем они должны обладать достаточными избирательными свойствами.

На коротких, длинных и средних волнах связь входного контура с антенной обычно выбирается слабой, чтобы уменьшить расстройку, вносимую в контур антенной цепью. На ультракоротковолновом диапазоне характеристические сопротивления контуров малы, вследствие чего коэффициент передачи напряжения входных цепей при слабой связи получается чрезвычайно низким.



Фиг. 32. Схема входной цепи приемника.

По мере увеличения связи полезный сигнал резко возрастает, достигая максимального значения при связи, близкой к оптимальной. В то же время уровень собственных шумов на входном контуре заметно снижается, так как при увеличении связи сопротивление, вносимое в контур из антенны, увеличивается.

Ввиду указанных соображений связь входного контура с антенной цепью на ультракоротких волнах обычно делается сильной. Однако в простых регенеративных и сверхрегенеративных приемниках, не имеющих ступени усиления высокой частоты, связь входного контура с антенной поневоле приходится делать слабой, так как сильная связь может сорвать колебания в регенераторе (сверхрегенераторе) или нарушить устойчивость его работы.

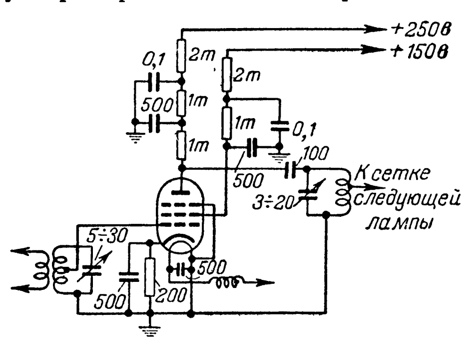
Для того чтобы на сетку входной лампы подавалось как можно большее напряжение сигнала, потери во входных контурах должны быть сведены к минимуму. Следует отметить, что присоединение лампы к контуру значительно снижает его добротность, поэтому рекомендуется ослаблять связь контура с цепью сетки. С этой целью связь входного контура с лампой в супергетеродинах и высококачественных

приемниках прямого усиления делается автотрансформаторной. Одновременно изменяя коэффициенты связи входного контура с антенной и лампой, можно подобрать такие условия, при которых передача напряжения входной цепи наиболее велика.

На фиг. 32 показана типовая схема входной цепи ультракоротковолнового приемника.

## 4. УСИЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

С целью повышения чувствительности супергетеродинных приемников метровых волн в них предусматривается усиление принимаемой частоты. Усилители ультравысоких частот строятся обычно по резонансной схеме с автотрансформаторным включением контура и содержат одну или несколько ламповых ступеней. Схема усилительной ступени ультракоротковолнового приемника показана на фиг. 33.



**Фиг. 33.** Схема усилительной ступени высокой частоты приемника.

При выборе типа ламп для усилителей ультравысокой частоты руководствуются двумя параметрами: уровнем внутренних шумов и величиной коэффициента усиления на рабочей частоте. Чем ниже уровень шумов лампы и выше коэффициент усиления, тем лучшие результаты будут получены при ее использовании. На метровых волнах находят применение лампы металлической серии с высокой крутизной типа 6Ж4 или миниатюрные стеклянные лампы типов 6Ж1Ж и 6Ж3П. Последние могут использоваться до волн порядка 40 *см.*

Для любого типа лампы существует частотный предел, на котором коэффициент усиления ступени становится равным единице. При дальнейшем повышении частоты лампа не только перестает усиливать принимаемые колебания, но даже начинает ослаблять их. При частоте 85 *мггц* ступень, собранная по схеме фиг. 33 на одной из указанных выше ламп, дает усиление порядка 2—4.

Мы уже упоминали, что с увеличением числа сеток лампы повышается уровень ее внутренних шумов. Так, в пентодах уровень шумов в несколько раз выше, чем в триодах. Тем не менее использовать триоды в обычных резонансных усилителях нельзя вследствие большой емкости анод—сетка, которая, как было показано в гл. 2, на высоких частотах служит причиной возникновения паразитной генерации. Применение триодов возможно только в схемах усилителей с заземленной сеткой, достоинства которых были рассмотрены в предыдущей главе. Усилительная степень с заземленной сеткой на волнах порядка 1,5 *м* обеспечивает усиление от 2 до 5.

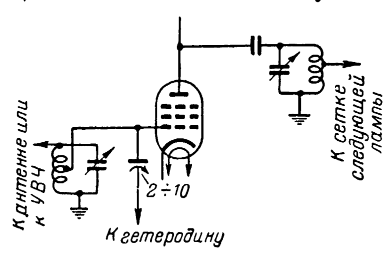
Остановимся на некоторых особенностях усилителей ультравысоких частот. Регулировка усиления ультракоротковолновых приемников обычно производится в последних ступенях, так как первые ступени должны иметь максимальное усиление для сохранения наибольшего отношения сигнала к шумам. Особое внимание приходится уделять развязывающим фильтрам, включаемым как в анодной и экранной цепях, так и в цепи катода. При этом необходимо учитывать, что конденсаторы большой емкости обладают паразитной индуктивностью, поэтому развязывающие фильтры делаются двухзвенными, причем емкость конденсатора в одном из звеньев выбирается порядка 0,1—0,5 *мкф,* а в другом равна нескольким десяткам или сотням *мкмкф.* При таком построении фильтра обеспечивается хорошая фильтрация в широком диапазоне частот. Из тех же соображений нередко соединяют параллельно два конденсатора с большой и малой емкостями.

### 5. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ В СУПЕРГЕТЕРОДИНАХ

На длинных, средних и отчасти коротких волнах преобразование частот производится с помощью многосеточных ламп. На ультравысоких частотах, где одним из основных требований является снижение уровня шумов, для смешения используются пентоды и триоды, а на сантиметровых волнах диоды и кристаллические смесители.

Пентодные смесители находят применение в диапазоне метровых волн и собираются обычно по схемам односеточного преобразования (принимаемые сигналы и колебания поступают на одну и ту же сетку пентода). Упрощенная схема пентодного смесителя дана на фиг. 34. В качестве преобразовательной лампы хорошие результаты дает лампа 6Ж1Ж.

Для устранения возможного влияния частоты приходящего сигнала на частоту гетеродина, а также для повышения устойчивости последней, нередко используется не основная частота гетеродина, а одна из ее гармоник. Следует, однако, отметить, что при использовании гармоник гетеродина без их последующего усиления крутизна преобразования падает и, следовательно, уменьшается отношение сигнал-шумы. На основной частоте крутизна преобразования составляет приблизительно 28% от крутизны в режиме усиления. На гармониках величина крутизны преобразования падает примерно пропорционально номеру гармоники.

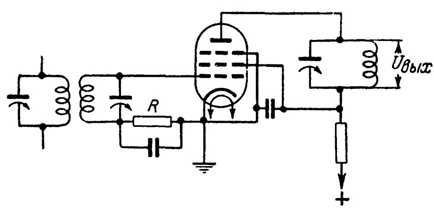



Фиг. 34. Упрощенная схема пентодного смесителя.

## 6. ПРИЕМ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Для супергетеродинного приемника, рассчитанного на прием частотно-модулированных сигналов, характерно наличие двух специфических узлов: ограничителя и частотного детектора.

Частотно-модулированные сигналы вследствие неравномерного затухания при распространении, а также и по иным причинам бывают нередко подвержены паразитной амплитудной модуляции. Ограничитель предназначен ограничивать (срезать) амплитуду сигнала и, тем самым, поддерживать ее постоянство. Другой немаловажной функцией ограничителя является подавление импульсных помех, амплитуды которых зачастую во много раз превышают уровень полезного сигнала.




Фиг. 35. Схема ограничителя амплитуды.

Существует большое количество различных схем ограничителей. Одна из наиболее простых дана на фиг. 35. В этой схеме ограничение происходит за счет использования сеточных токов лампы. Вход ограничителя присоединен к выходу усилителя промежуточной частоты. Постоянная составляю-

щая сеточного тока, проходя через сопротивление $R$, вызывает на нем падение напряжения. Будучи приложенным к управляющей сетке лампы ограничителя, это напряжение выполняет роль отрицательного смещения. Чем выше амплитуда сигнала, попадающего на вход ограничителя, тем бо́льшим оказывается напряжение смещения на сетке лампы и меньшим коэффициент усиления ступени. Напряжения на аноде и экранной сетке ограничительной лампы не превышают 50—60 *в*.

Недостатки рассмотренной простейшей схемы заключаются в высоком пороге ограничения (4—6 *в*) и в недостаточной пологости характеристики ограничителя. Лучшие результаты получаются при использовании сложных ограничительных схем или нескольких ступеней ограничения. Однако в радиолюбительских условиях такое усложнение нельзя считать особенно целесообразным.

Следует учитывать, что усиление по высокой и особенно по промежуточной частоте в приемнике, предназначенном для приема частотно-модулированных сигналов, должно быть бо́льшим, чем в обычных приемниках, так как для хорошей работы ограничителя требуется значительно большее переменное напряжение, чем для простого амплитудного детектора.

Назначение частотного детектора заключается в преобразовании частотно-модулированного напряжения высокой (ультравысокой) частоты в напряжение звуковой частоты.

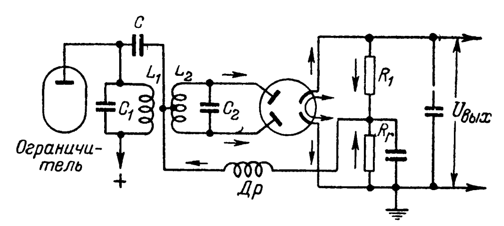
Простейшим частотным детектором может служить обычный резонансный контур, который настраивается таким образом, чтобы несущая частота частотно-модулированных колебаний располагалась в средней части одного из скатов его резонансной кривой. Нетрудно убедиться, что при качании частоты рабочая точка начнет перемещаться вверх и вниз по скату резонансной кривой, в результате чего амплитуда высокочастотного напряжения, снимаемого с контура, будет изменяться. Полученное амплитудно-модулированное напряжение может быть преобразовано в напряжение звуковой частоты с помощью обычного амплитудного детектора.

Описанный простейший метод частотного детектирования используется в регенеративных и сверхрегенеративных приемниках. Его недостаток заключается в отсутствии строгой линейной зависимости между отклонением частоты и амплитудой высокочастотного напряжения на контуре, вследствие чего преобразование частотно-модулированного на-

пряжения в амплитудно-модулированное сопровождается появлением заметных нелинейных искажений. Причиной искажений служит нелинейность скатов резонансной кривой колебательного контура.

В супергетеродинах и высококачественных приемниках прямого усиления в качестве частотного детектора применяется схема дискриминатора. Один из вариантов этой схемы приведен на фиг. 36.

Параллельный контур, включенный между анодами двойного диода, связан индуктивно с контуром в анодной цепи ограничителя. Оба контура настроены на промежуточную частоту приемника (или на несущую, когда применяется схема прямого усиления).



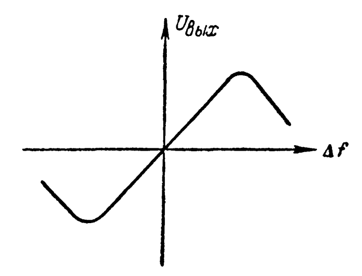

Фиг. 36. Схема дискриминатора.

Известно, что в момент резонанса напряжения на связанных контурах сдвинуты по фазе на 90°. При качании частоты колебаний, подводимых к дискриминатору, сдвиг фаз между напряжениями на контурах изменяется в ту или другую сторону. Напряжение с контура $L_1C_1$ подается на среднюю точку катушки $L_2$, поэтому в любой момент времени напряжение на каждом из анодов двойного диода равно сумме двух напряжений: первичного, подающегося через конденсатор $C$, и вторичного, наведенного на соответствующей половине катушки $L_2$ за счет индуктивной связи. Первичные напряжения на анодах двойного диода совпадают по фазе, вторичные — находятся в противофазе.

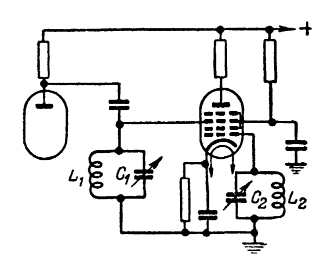
При резонансе, когда частота подводимых колебаний совпадает с резонансной частотой контура, сдвиг фаз между первичным и вторичным напряжениями на каждом из анодов равен 90°. Поэтому напряжения на анодах двойного диода равны между собой по амплитуде и падения выпрямленных напряжений при равных нагрузочных сопротивлениях одинаковы по абсолютной величине, но противоположны по знаку. Результирующее напряжение на выходе частотного детектора, равное сумме выпрямленных напря-

жений на нагрузочных сопротивлениях, в этом случае равно нулю.

При отклонении частоты от резонансной сдвиги фаз между первичными и вторичными напряжениями на анодах двойного диода уже не будут равны между собой, вследствие чего различными окажутся и амплитуды напряжений на анодах диодов. Поэтому в данном случае компенсации не произойдет и результирующее напряжение на выходе частотного детектора не будет равно нулю, как это имело место при резонансе. Зависимость результирующего напряжения на выходе детектора от частоты подводимых колебаний показана на фиг. 37. Центральный участок кривой




Фиг. 37. Характеристика дискриминатора.




Фиг. 38. Упрощенная схема фазового детектора.

прямолинеен, и в пределах этого участка выпрямленное напряжение изменяется в строгом соответствии с изменением частоты принимаемого сигнала. Постоянные времени выходных цепей детектора выбираются достаточно малыми, чтобы избежать искажений вследствие инерции выпрямленного напряжения, изменение которого должно отражать самые быстрые отклонения частоты сигнала.

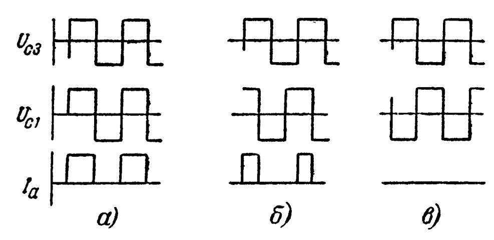
Для детектирования частотно-модулированных сигналов пригодна также схема фазового детектора, которая может использоваться как в супергетеродинах, так и в приемниках прямого усиления. Упрощенный вариант этой схемы показан на фиг. 38.

Допустим, что на обоих контурах схемы существует переменное напряжение резонансной частоты. Положим также, что сдвиг фаз между напряжениями на контурах, а следовательно, и на управляющих сетках гептода может изменяться в пределах от 0 до 180°. Амплитуды напряжений могут быть подобраны такими, что при отрицательном полупериоде напряжения на любой из сеток анодный ток будет ничтожно мал. Таким образом, анодный ток протекает лишь

в то время, когда потенциалы обеих сеток положительны (при прямоугольной форме напряжений). Если напряжения синфазны, длительность импульсов анодного тока равна половине периода управляющих напряжений (фиг. 39,*а*). Если же напряжения сдвинуты на 90° друг относительно друга, длительность импульсов сокращается вдвое (фиг. 39,*б*). Наконец, если напряжения на сетках противофазны, анодный ток прекращается (фиг. 39,*в*).

Таким образом, изменяя сдвиг фаз между управляющими напряжениями, можно изменять среднюю величину анодного тока.

Фазовый детектор работает следующим образом (фиг. 38). На третью сетку гептода (контур $L_1C_1$) подается



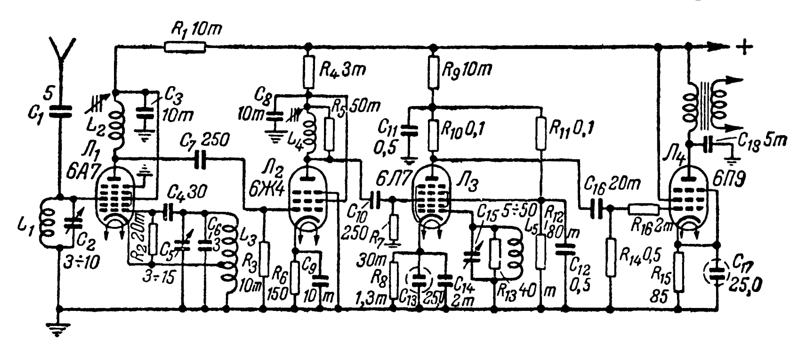

Фиг. 39. Работа фазового детектора.

напряжение с ограничителя. Контур $L_2C_2$, подключенный к первой сетке, изолирован от внешних наводок, и возбуждение колебаний в нем происходит за счет электронного потока, управляемого третьей сеткой. Если этот контур настроен на частоту сигнала (или промежуточную частоту), напряжение, возбуждаемое в нем, будет отставать по фазе на 90° от напряжения на третьей сетке. Повышение частоты напряжения сигнала увеличивает сдвиг фаз, а понижение — уменьшает его. Такое колебание частоты около резонансного значения имеет место при частотной модуляции. Поскольку изменение сдвига фаз между напряжением сигнала и напряжением на контуре $L_2C_2$ меняет среднее значение анодного тока, колебания последнего будут происходить в соответствии с звуковой частотой, модулирующей сигнал. Напряжение звуковой частоты снимается с сопротивления, служащего анодной нагрузкой лампы. Фазовый детектор работает в наиболее выгодных условиях при минимальной емкости контура $L_2C_2$.

В качестве примера практического использования фазового детектора приводим на фиг. 40 одну из схем любительского радиоприемника.

Приемник представляет собой четырехламповый супергетеродин с одной ступенью усиления промежуточной частоты. В нем $Л_1$ (6А7) — преобразователь; $Л_2$ (6Ж4) — усилитель промежуточной частоты; $Л_3$ (6Л7) — ограничитель, фазовый детектор и предварительный усилитель низкой частоты и $Л_4$ (6П9) — оконечный усилитель низкой частоты.

Схема преобразователя обычна. Гетеродин собран по трехточечной схеме с заземленным по высокой частоте анодом (в качестве анода гетеродина используется экранная сетка преобразовательной лампы). В анодной цепи преобразователя имеется контур $L_2$, настроенный на промежуточную частоту, которая равна 10,5 *мггц*. Этот контур шунтируется сопротивлением утечки сетки $R_3$, благодаря чему ширина полосы получается достаточной для пропускания спектра частотно-модулированного сигнала. С этой же целью контур $L_4$ в анодной цепи лампы $Л_2$ шунтирован сопротивлением $R_5$. С анода лампы $Л_2$ колебания промежуточной частоты поступают на гетеродинную (третью) сетку лампы $Л_3$.




Фиг. 40. Схема приемника с фазовым детектором.

В цепь управляющей сетки этой лампы включен контур $L_5C_{15}$, настроенный на промежуточную частоту. В анодной цепи лампы $Л_3$ находится развязывающий фильтр $R_9C_{11}$. Напряжение звуковой частоты снимается с сопротивления нагрузки $R_{10}$.

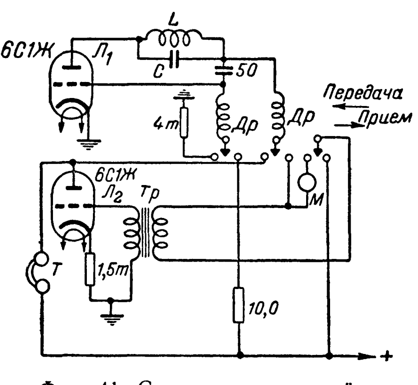
Сопротивление $R_{16}$ предохраняет схему от самовозбуждения по низкой частоте. Прочие элементы схемы обычны и не нуждаются в пояснении.

Работа этого приемника может быть значительно улучшена введением в его схему одной или нескольких ступе-

ней усиления высокой частоты. Целесообразно также заменить преобразователь на многосеточной лампе пентодным смесителем с отдельным гетеродином.

## 7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ ПРИЕМНИКОВ

Исходными данными при проектировании приемника являются технические требования, определяющие его чувствительность, избирательность, диапазон частот, характер принимаемых сигналов (телеграф, частотно-модулированная или амплитудно-модулированная телефонная передача), выходную мощность, а также размеры, вес, количество ламп, вид источников питания и т. п.




Фиг. 41. Схема портативной радиостанции.

Характер технических требований определяется назначением приемника. В портативных передвижных установках с питанием от батарей целесообразно использовать сверхрегенеративные схемы. Размеры таких установок приближаются к размерам обычных микротелефонных трубок. Широкое распространение в портативных радиостанциях находят так называемые трансиверные схемы, в которых одни и те же лампы работают попеременно то в передатчике, то в приемнике.

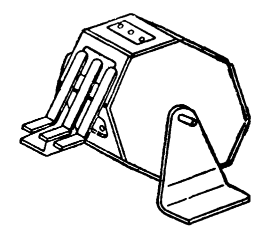
Одна из подобных схем приведена на фиг. 41. Радиостанция собрана на двух триодах 6С1Ж.

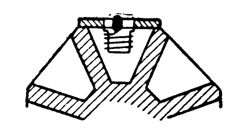
При установке переключателя в положение «передача» одна из ламп $Л_1$ работает как генератор с самовозбуждением, а другая $Л_2$ — как модулятор. В передатчике применена анодная модуляция. В качестве модуляционного дросселя используются катушки микротелефонной трубки *Т*. Микрофон *М* — пьезоэлектрический.

При перестановке переключателя в положение «прием» схема работает как сверхрегенеративный приемник со ступенью усиления низкой частоты. Прием ведется на микротелефонную трубку. Радиостанция питается от сухой анодной батареи БАС-Г-80 и потребляет при передаче ток порядка 7 *ма*, а при приеме 2,5 *ма*.

Суперрегенераторы, в которых отсутствует усиление высокой частоты, так же как и регенеративные приемники, излучают электромагнитную энергию и, таким образом, являются источниками помех. Поэтому в стационарных устройствах, работающих в условиях города, их применение нежелательно.

Область применения супергетеродинных приемников более широка. Для работы в передвижных установках могут использоваться малоламповые супергетеродины, работающие на лампах «пальчиковой» серии. В стационарных устройствах, где ограничения в размерах и в количестве ламп не столь жестки, можно применять приемники с двойным преобразованием частоты.





Фиг. 42. Переключатель „барабанного" типа.

Одной из специфических особенностей приемников для любительской радиосвязи является то, что в них обычно «растягивают» на всю шкалу те участки коротковолнового или ультракоротковолнового диапазона, в которых работают любительские радиостанции. Это позволяет упростить конструкцию и настройку приемника. Контуры высокой частоты в таком приемнике могут иметь фиксированную настройку на среднюю частоту любительского диапазона, что дает возможность обойтись всего лишь одним конденсатором переменной емкости (в контуре первого гетеродина). Анодное питание гетеродина нужно стабилизировать.

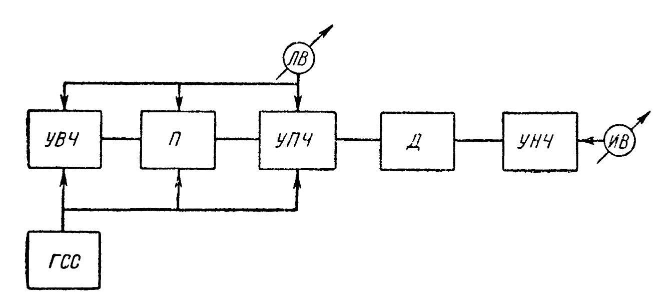
Конструктивно приемник целесообразно выполнять в виде отдельных блоков, смонтированных на латунных или стальных шасси. Подбор деталей, их расположение, экранирование и монтаж следует производить с учетом соображений, приведенных в гл. 2.

В приемниках, рассчитанных на несколько диапазонов (коротковолновых и ультракоротковолновых), желательно применять переключатели диапазонов барабанного типа (фиг. 42). При отсутствии таких переключателей переход с диапазона на диапазон можно осуществлять посредством сменных катушек. Обычные галетные переключатели на ультракоротких волнах работают неудовлетворительно, являясь причиной возникновения нежелательных емкостных связей между контурами.

## 8. НАЛАЖИВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ

Налаживание ультракоротковолновых приемников ведут в той же последовательности, как и приемников, рассчитанных на более низкие радиочастоты. Начинают с проверки цепей приемника и подгонки режима ламп. Затем налаживается усилитель низкой частоты *УНЧ*, детектор *Д*, усилитель промежуточной частоты *УПЧ* и, наконец, преобразователь *П* и ступени усиления ультравысокой частоты *УВЧ*.

Схема включения приборов при измерениях показана на фиг. 43. Настройку производят генератором стандартных сигналов *ГСС*. Ламповый вольтметр *ЛВ* подключается




Фиг. 43. Включение приборов при налаживании приемника.

к выходу исследуемой ступени через конденсатор емкостью порядка 1—2 *мкмкф*. Для измерения низкочастотного напряжения на выходе приемника служит измеритель выхода *ИВ*.

Настройка резонансных ступеней производится по максимуму показаний измерительного прибора. Напряжение промежуточной частоты, модулированное тоном звуковой частоты, подается на вход смесительной лампы. Величина напряжения выбирается таким образом, чтобы все последующие ступени приемника работали в пределах линейных участков ламповых характеристик, иначе, вследствие ограничения, максимум усиления усилителя промежуточной частоты не будет ярко выражен и точная настройка окажется невозможной.

Частотная характеристика усилителя промежуточной частоты строится следующим образом. Частота генератора стандартных сигналов плавно изменяется; при этом уровень напряжения на выходе усилителя поддерживают все время постоянным, равным 0,5—1 *в*, для чего соответственно изме-

няют входное напряжение. Через каждые 200—300 *гц* фиксируются частота (по шкале генератора или с помощью гетеродинного волномера) и показания аттенюатора. Затем для каждой частоты, на которой производилось измерение, подсчитывается отношение максимального полученного при измерениях напряжения генератора к его значению на данной частоте. По этим данным строится частотная характеристика.

Вдоль горизонтальной оси кривой откладывается частота, а вдоль вертикальной — отношение максимального выходного напряжения стандарт-сигнал-генератора к текущему значению.

Коэффициент усиления усилителей промежуточной и низкой частоты приемника находится как отношение выходного напряжения к входному при условии, что ограничение отсутствует.

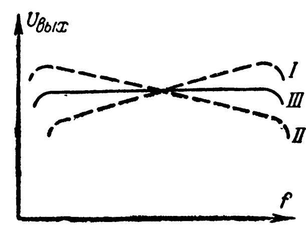
Проверить линейность усилителя можно путем построения его амплитудной характеристики, под которой понимается зависимость напряжения на выходе усилителя от величины напряжения на его входе.

Степень частотных искажений усилителя определяется с помощью его частотной характеристики, которая представляет собой зависимость выходного напряжения от частоты модуляции входного напряжения. При снятии ее внутренняя модуляция стандарт-сигнал-генератора выключается, гнезда «внешняя модуляция» соединяются с выходом звукового генератора, а несущая частота сигнал-генератора устанавливается точно на середину полосы пропускания усилителя. Надо следить за тем, чтобы при перестройке звукового генератора не менялся уровень входного напряжения и коэффициент модуляции. Идеальная частотная характеристика представляет собой прямую линию, параллельную оси частот. Она соответствует случаю полного отсутствия частотных искажений.

В передатчиках с частотной модуляцией нередко подчеркиваются верхние звуковые частоты, так как их мощность в спектре речи или музыки значительно меньше мощности низких частот. Подъемом верхних звуковых частот достигается более равномерное распределение мощности, что благоприятствует подавлению помех. Для того чтобы избежать искажений при приеме, частотная характеристика приемника делается наклонной с тем, чтобы компенсировать завал низких частот, путем срезания верхних звуковых частот, которые были подняты при передаче.

На фиг. 44 даны: частотная характеристика передатчика (кривая *I*), характеристика приемника (кривая *II*) и результирующая частотная характеристика передачи (кривая *III*).

Настройка усилителя высокой частоты в принципе не отличается от настройки усилителя промежуточной частоты. Сопряжение входных контуров и контура гетеродина достаточно произвести только в одной точке, на средней частоте диапазона, так как последний весьма узок. После настройки усилителя высокой частоты на среднюю частоту любительского диапазона включается гетеродин, и его частота устанавливается по максимуму показаний прибора на выходе приемника. Для большей стабильности частота гетеродина должна быть ниже частоты принимаемого сигнала.



Фиг. 44. Частотная характеристика передачи.

При настройке контуров целесообразно пользоваться специальной настроечной палочкой с наконечниками из латуни и карбонильного железа. Если введение карбонильного железа в контур увеличивает показания выходного прибора, а латунь уменьшает их, частоту контура следует понизить. Если, наоборот, латунный наконечник вызывает увеличение показаний прибора, а карбонильный приводит к их уменьшению, частота контура должна быть повышена.

Чувствительность приемника в целом, равно как и его избирательность, можно проверить только с помощью стандарт-сигнал-генератора, снабженного аттенюатором для точного отсчета выходного напряжения.

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

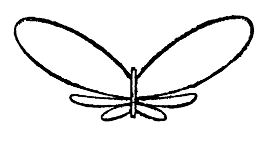
# АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА МЕТРОВЫХ ВОЛН

### 1. ПРОСТЕЙШИЕ АНТЕННЫ

Наиболее распространенной антенной системой на ультракоротких волнах является полуволновый вибратор, встречающийся в следующих вариантах: 1) вертикальный вибратор с питанием током; 2) вертикальный вибратор с питанием напряжением; 3) горизонтальный вибратор с питанием током; 4) горизонтальный вибратор с питанием

напряжением. Рассмотрим особенности каждого из этих вариантов.

Вертикальный вибратор с питанием током, представляющий собой металлический штырь, отличается равномерным распределением излучения в горизонтальной плоскости, т. е. отсутствием направленности. По этой причине он применяется преимущественно в тех случаях, когда радиостанция предназначена для связи с корреспондентами, расположенными в различных направлениях. Характеристика излучения такой антенны в вертикальной плоскости показана на фиг. 45. Длина вибратора теоретически равна половине длины волны, однако вследствие близости земли волна вибратора удлиняется, поэтому при расчете такой антенны следует руководствоваться формулой:



Фиг. 45. Характеристика излучения вертикального вибратора в вертикальной плоскости.

$$l = 0{,}476\,\lambda,$$

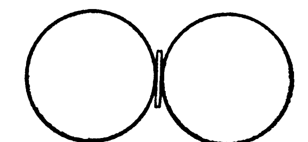
где $\lambda$ — длина волны, *м*; $l$ — длина вибратора, *м*.

Теоретически питание подводится к середине излучающей части вибратора, но поскольку нижний конец вертикального вибратора ближе к земле, чем верхний, распределение емкости вдоль антенны становится несимметричным, вследствие чего симметрия в распределении тока и напряжения также нарушается. Для компенсации влияния земли необходимо подключать фидер (питающую линию) таким образом, чтобы верхняя половина вибратора была на $3 \div 5\%$ длиннее нижней. На расстоянии не менее половины длины волны фидер должен итти под прямым углом к оси вибратора, т. е. горизонтально. Чем выше вертикальный вибратор, тем положе лепестки характеристики излучения в вертикальной плоскости, ниже направление максимального излучения и больше дальность передачи.

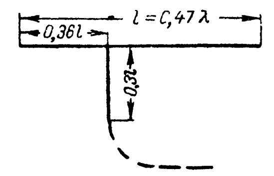
Вертикальный вибратор с питанием напряжением также представляет собой металлический штырь, длина которого подсчитывается по той же формуле, которая была приведена для вертикального вибратора с питанием током. Но в отличие от предыдущего случая фидер присоединяется к нижнему концу вибратора и может итти к передатчику или приемнику как вертикально, так и под углом к оси антенны. Диаграмма излучения такого вибратора в горизонтальной плоскости представляет собой правильный круг,

а в вертикальной — подобна характеристике, представленной на фиг. 45. Однако излучение в этом случае происходит круче, чем при питании током. Поэтому для перекрытия одного и того же расстояния вертикальный вибратор с питанием напряжением приходится поднимать выше, чем вибратор с питанием током. Подобная антенна благодаря исключительной простоте находит применение в портативных передвижных устройствах.

Горизонтальный вибратор с питанием током обладает направленным действием в горизонтальной плоскости и применяется тогда, когда связь ведется с одним корреспондентом и максимум излучения должен быть направлен



Фиг. 46. Характеристика излучения горизонтального вибратора в горизонтальной плоскости.




Фиг. 47. Однофидерная антенна.

в его сторону. Характеристика излучения такой антенны в горизонтальной плоскости дана на фиг. 46. Фидер подводится точно посередине излучающей части. Расчет длины вибратора производится по той же формуле, что и в предыдущих случаях.

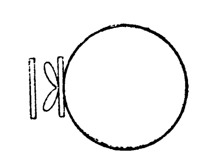
Горизонтальный вибратор с питанием напряжением обладает несимметричной характеристикой направленности. Вследствие ряда недостатков этот тип антенны не получил распространения и не может быть рекомендован для применения в радиолюбительской практике.

К числу простейших антенн можно отнести также однофидерную антенну, широко используемую на коротких волнах. По своему действию она напоминает полуволновый горизонтальный вибратор с питанием током. Расчет такой антенны иллюстрируется фиг. 47.

В заключение следует отметить, что для обеспечения наибольшей силы приема передающая и приемная антенны должны быть ориентированы одинаково, так как колебания, излучаемые вертикальным вибратором, лучше всего воспринимаются вертикальной антенной, в то время как излучение горизонтального вибратора наиболее хорошо улавливается горизонтальной антенной.

## 2. СЛОЖНЫЕ АНТЕННЫ

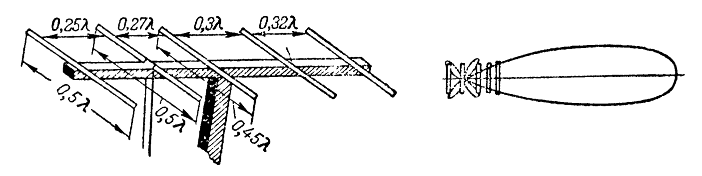
В тех случаях, когда необходимо излучать энергию в каком-либо одном, вполне определенном направлении горизонтальной плоскости, а также тогда, когда излучение в вертикальной плоскости должно быть как можно более пологим (при дальной связи) приходится применять сложные типы антенн. Как было отмечено в предыдущем параграфе, обычный горизонтальный вибратор обладает направленным действием в горизонтальной плоскости, причем его характеристика имеет два максимума излучения в противоположных направлениях. Если на расстоянии в четверть волны позади горизонтального вибратора и параллельно ему расположить провод, длина которого равна длине диполя, то характеристика излучения примет вид, показанный на фиг. 48.



Фиг. 48. Характеристика излучения горизонтального вибратора с рефлектором.

При этом расположенный позади вибратора провод играет роль зеркала и носит название рефлектора. Излучение в сторону рефлектора и прием со стороны рефлектора вследствие отражения волн будут сильно ослаблены, в то время как излучение в сторону активного вибратора и сила приема с его стороны значительно усилятся.

Для того чтобы характеристика направленности стала более острой, перед вибратором помещают несколько па-




Фиг. 49. Направленная антенна с пассивными вибраторами.

раллельных проводов-директоров, длины которых равны приблизительно 0,45 λ. Данные такой антенны и ее характеристика излучения показаны на фиг. 49.

Всем описанным ранее антеннам свойственен общий недостаток, который заключается в недостаточной пологости излучения относительно горизонта. Этот недостаток в значительной мере снижается в многоярусных антеннах.

В таких антеннах вибраторы располагаются друг над другом, образуя несколько этажей. На фиг. 50 показано,

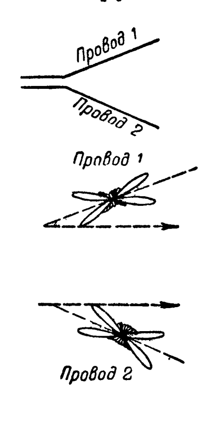
как изменяется характеристика излучения в вертикальной плоскости при увеличении числа этажей.

Многоярусные антенны могут состоять как из горизонтальных, так и из вертикальных вибраторов. Характеристи-




Фиг. 50. Зависимость характеристики излучения многоярусной антенны в вертикальной плоскости от числа этажей.

ка направленности в горизонтальной плоскости антенны в целом определяется диаграммой излучения каждого этажа в отдельности. Направленными свойствами обладают многоярусные антенны, составленные из горизонтальных или из V-образных вибраторов. Действие последних иллюстрируется фиг. 51. Характеристика излучения V-образного вибратора получается направленной в результате сложения характеристик излучения его лучей. (проводов).




Фиг. 51. Действие V-образных вибраторов.

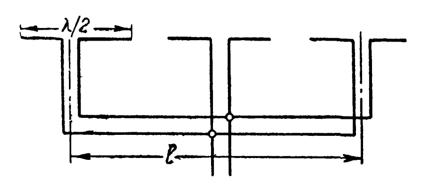
При выборе типа антенны следует руководствоваться теми требованиями, которые предъявляются к радиостанции в целом. Нужно помнить, что увеличение числа этажей равносильно подъему простого вибратора, т. е. увеличению его действующей высоты. Таким образом, применение многоярусных антенных устройств целесообразно в тех случаях, когда необходимо добиться максимальной дальности связи при ограниченных возможностях подъема антенны.

Сложные антенны улавливают большее количество электромагнитной энергии по сравнению с простыми, что значительно повышает громкость приема и снижает влияние помех.

Как уже было упомянуто, колебания, излучаемые горизонтальными вибраторами, неудовлетворительно улавливаются вертикальными, а горизонтальные вибраторы мало пригодны для приема сигналов, излучаемых вертикаль-

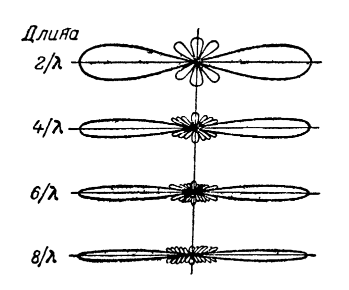
ными вибраторами. Такое явление справедливо не только в случае простых антенн, но и в сложных антенных системах.

К числу сложных антенных систем с весьма острой характеристикой направленности относится синфазная антенная система. Такая система состоит из ряда элементарных излучателей (вертикальных или горизонтальных вибраторов, V-образных вибраторов и т. п.), расположенных на одной линии через равные промежутки. Питание к излучателям подводится в фазе. Максимум излучения направлен перпендикулярно линии, на которой расположены излучатели.

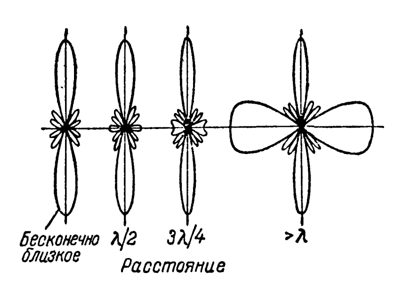


Фиг. 52. Синфазная антенна с горизонтальными вибраторами.

В качестве примера на фиг. 52 приведена синфазная система с горизонтальными вибраторами. Чем больше длина синфазной антенной системы $l$, тем острее основные лепестки характеристики излучения (фиг. 53). Увеличение длины может быть достигнуто повышением числа излучателей или расстояния между ними. Однако увеличение расстоя-



Фиг. 53. Зависимость характеристики излучения синфазной системы от ее длины.



Фиг. 54. Зависимость характеристики излучения синфазной системы от расстояния между элементами.

ния между элементами синфазной антенной системы свыше некоторой критической величины приводит к росту побочных лепестков в диаграмме направленности. В случае использования простых вертикальных вибраторов критическое расстояние равно приблизительно $^3/_4$ длины волны. Если элементы синфазной системы сами по себе обладают на-

правленностью в горизонтальной плоскости, то критическое расстояние несколько увеличивается. Фиг. 54 показывает характер изменения характеристики излучения синфазной антенны с увеличением расстояния между ее элементами.

### 3. СОГЛАСОВАНИЕ ФИДЕРА С АНТЕННОЙ

Фидер (питающая линия) является связующим звеном между антенной и передатчиком или приемником. Качество работы антенн как передающих, так и приемных во многом зависит от правильности согласования фидера с антенной и выходной ступенью передатчика или входной цепью приемника.

Если рассмотреть эквивалентную схему антенного устройства, то будет видно, что с одного конца питающая линия нагружена на эквивалентное сопротивление излучения антенны, а с другого — на эквивалентное сопротивление выходной цепи передатчика или входной цепи приемника. Условием согласования является равенство волнового сопротивления фидера с нагрузочными.

Волновое сопротивление не зависит от длины линии и определяется ее параметрами. Оно может быть приближенно вычислено по формуле

$$W = \frac{30}{C_1},$$

где $C_1$ — погонная емкость (на 1 *см* длины линии), *мкмкф*.

Эта формула справедлива как для обычной двухпроводной линии, так и для коаксиального кабеля.

Плохое согласование фидера с нагрузкой приводит к потерям энергии. При неправильном согласовании приемной антенны с фидером и входными цепями приемника наблюдается следующее. Так как в этом случае входное сопротивление приемника не равно волновому сопротивлению линии, часть уловленной энергии отражается от входа приемника и вновь возвращается в антенну. Однако и кажущееся сопротивление антенны в точке присоединения фидера не равно его волновому сопротивлению, поэтому часть энергии вторично отражается и снова поступает на вход приемника, но уже с некоторым сдвигом во времени относительно первичной волны. В результате этого появляется интерференция волн, ослабляющая сигнал. Для исключения интерференции на практике оказывается достаточным правильно согласовать фидер с нагрузкой только с одного конца (лучше всего со стороны входных цепей приемника).

По мере повышения частоты возрастают диэлектрические потери в фидере. Чем длиннее питающая линия, тем больше ее затухание. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы длина фидера была как можно меньше. В открытых двухпроводных линиях с повышением частоты резко увеличиваются потери на излучение. В коаксиальных линиях потери на излучение малы, вследствие чего на ультравысоких частотах таким линиям отдают предпочтение. По своим качественным показателям разные типы коаксиальных кабелей различны. Наилучшие результаты дают кабели с внутренней изоляцией из керамических бусинок, наихудшие — с резиновой изоляцией.

Открытые двухпроводные линии благодаря своей симметричности пригодны для непосредственного питания симметричных антенн. Они не требуют какого-либо согласующего устройства при условии равенства волнового сопротивления фидера и кажущегося сопротивления в точке его подключения к антенне. Сопротивление излучения полуволнового вибратора с питанием током равно приблизительно 73 *ом*, поэтому волновое сопротивление фидера должно быть также равным этой величине. Таким волновым сопротивлением обладает, в частности, двухжильный скрученный провод диаметром 1,5 *мм* при толщине изоляции порядка 0,3 *мм*. В крайнем случае может быть использован обычный шнур, который применяется для электрической проводки.

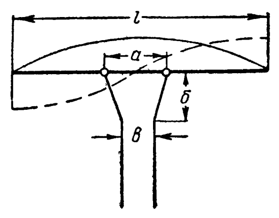
Двухпроводные линии с малым волновым сопротивлением имеют довольно большое затухание, поэтому более распространены линии с сопротивлением порядка 600 *ом*, которые естественно, не могут подключаться к антенне непосредственно. Для согласования такой линии с антенной используются связующие трансформаторы. Наиболее распространено дельтообразное подключение фидера к антенне (фиг. 55). Здесь дельтообразная секция выполняет функции трансформатора, входное сопротивление которого равно волновому сопротивлению фидерной линии, а выходное — полному сопротивлению антенного устройства между точками ее присоединения. Расчет согласующего трансформатора производится по формулам

$$l = 0{,}475\,\lambda; \quad a = 0{,}125\,\lambda; \quad б = 0{,}15\,\lambda; \quad в = 75d;$$

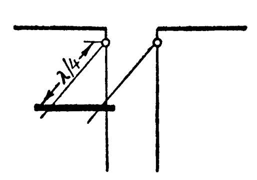
здесь $\lambda$—длина волны, *м*;

$d$ — диаметр провода линии, *мм*.

Для сопряжения фидера с антенной используются согласующие шлейфы, которые представляют собой короткозамкнутые линии длиной в $^1/_4$ волны, присоединяемые к фидеру вблизи антенны (фиг. 56). На ультравысоких частотах волновое сопротивление фидера носит активный характер, в то время как сопротивление антенны в точке подвода питания может иметь реактивную составляющую, вызывающую потери энергии вследствие отражения. Назначение согласующего шлейфа заключается, во-первых, в компенсации реактивной составляющей и, во-вторых, в согласовании активных сопротивлений антенны и фидера для максимальной отдачи мощности. Первая функция достигается



Фиг. 55. Дельтообразное подключение фидера к антенне.



Фиг. 56. Присоединение согласующего шлейфа.

при правильном подборе длины шлейфа, вторая — при оптимальном расстоянии между точками подключения шлейфа и антенной.

Мы рассмотрели вопросы питания симметричной антенны двухпроводной линией с бегущей волной. Симметричные передающие антенны могут питаться стоячей волной, хотя последний случай менее желателен.

При работе фидера в режиме стоячей волны его волновое сопротивление не согласовано с сопротивлением антенны, вследствие чего напряжение и ток в нем сдвинуты по фазе на 90°. Токи и напряжения в проводах фидера сдвинуты по фазе соответственно на 180°, и магнитные поля, образующиеся вокруг проводов, будучи противоположны друг другу, взаимно компенсируются. По этой причине практически излучение отсутствует. Длина фидера рассчитывается по формуле

$l_ф = 0{,}9\frac{\lambda}{4}(2n-1)$ — при питании вибратора напряжением и

$l_ф = 0{,}9\frac{\lambda}{2}n$ — при питании вибратора током,

где $n$ — любое целое число.

Питающая линия может быть сделана также произвольной длины. В этом случае она настраивается последовательным или параллельным включением конденсаторов (фиг. 57). Последовательное включение конденсаторов эквивалентно укорочению линии, параллельное — ее удлинению.

Как уже упоминалось, открытые линии обладают большим затуханием по сравнению с коаксиальными, в силу чего применение последних на ультракоротких волнах более желательно.




Фиг. 57. Настройка фидерной линии.

Фиг. 58. Включение фазирующего звена.

Фиг. 59. Петлевой вибратор.

Коаксиальные линии являются несимметричными и для работы с симметричными антеннами требуют специального согласующего элемента. Переход от симметричной антенны к коаксиальной линии осуществляется посредством фазирующего звена, сдвигающего напряжение одной половины вибратора на 180° по отношению к напряжению другой.

В результате обе половины вибратора могут быть присоединены к внутреннему проводнику коаксиального кабеля, тогда как внешний проводник заземляется. Устройство фазирующего звена иллюстрируется фиг. 58. «Электрическая» длина фазирующего кабеля равна половине длины волны, реальная длина подсчитывается по формуле

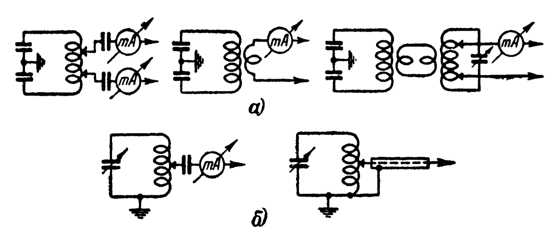
$$l_{ф} = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon}},$$

где $\lambda$ — рабочая длина волны, *м*;

$\varepsilon$ — диэлектрическая постоянная внутренней изоляции коаксиального кабеля (для кабелей со сплошной полистиреновой изоляцией $\varepsilon = 2{,}3$).

В качестве примера согласования коаксиального кабеля с симметричной антенной рассмотрим случай петлевого

вибратора, состоящего из двух соединенных концами полуволновых вибраторов (фиг. 59). Нижний вибратор разрезан посредине для присоединения к фидеру. В случае равенства диаметров обеих половин петлевого вибратора его сопротивление в точке присоединения фидера составляет приблизительно 300 *ом*. Выходное сопротивление фазирующего звена в 4 раза больше волнового сопротивления коаксиального кабеля. Если фидер и фазирующее звено




Фиг. 60. Связь симметричного (*а*) и несимметричного (*б*) фидера с передатчиком.

изготовлены из 75-омного кабеля, то выходное сопротивление фазирующего звена равно входному сопротивлению петлевого вибратора (300 *ом*).

Если выходное сопротивление фазирующего звена не равно входному сопротивлению используемой антенны, то их можно согласовать с помощью связующего трансформатора — кабеля длиной в четверть волны. Волновое сопротивление этого кабеля рассчитывается по формуле

$$W = 2\sqrt{R_{вх} \cdot W_{ф}} = \sqrt{R_{вх} \cdot W_{вых}},$$

где $W$ — волновое сопротивление связующего трансформатора;

$W_{ф}$ — волновое сопротивление фидера:

$W_{вых}$ — выходное сопротивление фазирующего звена;

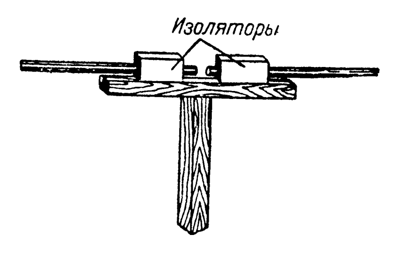
$R_{вх}$ — входное сопротивление антенны.

Петлевой вибратор может применяться и с двухпроводными линиями открытого типа, причем в этом случае он даже удобнее обычного полуволнового вибратора с волновым сопротивлением порядка 73 *ом*, так как допускает непосредственное включение фидера со сравнительно большим волновым сопротивлением (300 *ом*). Двухпроводная линия обладает таким сопротивлением, когда расстояние между проводами в 5,5 раза больше их диаметра.

На фиг. 60,*а* показаны различные варианты связи симметричной питающей линии с выходным контуром передатчика, а на фиг. 60,*б* даны аналогичные схемы, применяющиеся в случае несимметричного фидера. С точки зрения подавления гармоник наиболее предпочтительна индуктивная связь.

## 4. КОНСТРУИРОВАНИЕ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ

От качества антенного устройства зависит успех радиосвязи. Несколько ватт при хорошей антенне могут дать гораздо более высокие результаты в отношении дальности связи, чем десятки и даже сотни ватт при работе с плохой антенной. Качество антенны определяется не только правильностью ее выбора и расчета, но зависит также от целого ряда посторонних факторов, таких, как влажность окружающей среды, влияние находящихся поблизости предметов и т. п. Показатели антенного устройства будут близки к теоретическим лишь при условии его правильного конструктивного выполнения.

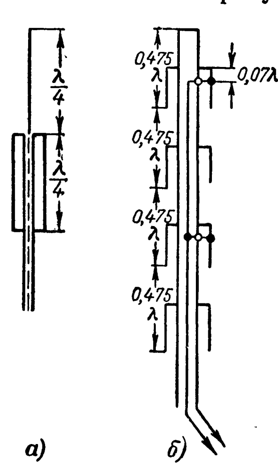


Фиг. 61. Типовая конструкция горизонтального вибратора.

Ультракоротковолновые антенны обычно изготовляются из медных или алюминиевых труб диаметром от 10 до 30 *мм*. Типовая конструкция горизонтального полуволнового вибратора показана на фиг. 61.

Особое внимание следует уделять качеству изоляторов, на которых крепятся элементы антенны. Антенные устройства находятся на открытом воздухе и подвергаются влиянию влаги, поэтому такие изоляционные материалы, как гетинакс или текстолит, вследствие их гигроскопичности мало пригодны для использования в наружных антеннах. Органическое стекло, достоинствами которого являются влагостойкость и легкость механической обработки, может применяться в конструкциях приемных антенн. В передающих антеннах оно может использоваться лишь при малых мощностях излучаемых колебаний, так как в полях ультравысокой частоты большой напряженности происходят размягчение и деформация органического стекла. Наилучшим изоляционным материалом является радиокерамика. Она не гигроскопична и обладает высокими диэлектрическими

свойствами. Некоторым недостатком керамики (ощутимым только в радиолюбительских условиях) может считаться трудность ее обработки. В настоящее время промышленностью выпускается большое количество различных изоляторов из радиокерамики, которые в том или ином виде могут быть использованы в радиолюбительских конструкциях. В крайнем случае допустимо применение пропитанного бакелитом и просушенного текстолита или гетинакса.




Фиг. 62. Конструкция вертикального вибратора (*а*) и многоярусной антенны, составленной из вертикальных вибраторов (*б*).

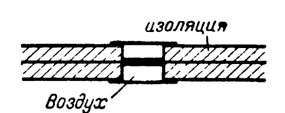
Существует довольно своеобразная конструкция вертикального полуволнового вибратора с питанием током, которая может представить интерес для радиолюбителей главным образом в силу своей простоты. Верхняя половина вибратора длиной $\lambda/4$ выполняется в виде продолжения внутреннего проводника коаксиального кабеля, а нижняя половина той же длины образуется отогнутым вниз внешним проводником (практически она изготавливается из медной трубы, верхняя часть которой соединяется с внешним проводником коаксиального кабеля). Схематический чертеж такой антенны приведен на фиг. 62, *а*.

Аналогично может быть сконструирована и многоярусная антенна, состоящая из вертикальных вибраторов. Схематическое устройство такой антенны представлено на фиг. 62,*б*.

На ультракоротких волнах широкое применение находят вращающиеся направленные антенны. Обладая всеми преимуществами обычных антенн направленного действия, они позволяют вместе с тем вести связь с корреспондентами, расположенными в различных направлениях. Вращение антенны обычно осуществляется с помощью электродвигателя с редуктором, понижающим число его оборотов до 2—3 в минуту. Положение антенны в горизонтальной плоскости определяется с помощью индикатора. Вал антенны соединяется с ползунком реостата, включенного последовательно с миллиамперметром в цепь постоянного или переменного тока (в зависимости от типа прибора). При вращении антенны сопротивление реостата меняется, в резуль-

тате чего изменяются ток в цепи индикатора и показание прибора. Шкала миллиамперметра градуируется непосредственно в румбах и градусах. В процессе работы прибор находится на столе оператора, который по его показаниям устанавливает необходимый угол поворота антенны.

При конструировании антенного устройства следует учитывать возможность отражения в точке присоединения фидера к вибратору, в стыках фидера и в местах его перегибов. Соединение двух отрезков фидера путем скрутки проводов может вызвать потерю энергии, причем тем бо́льшую, чем выше частота колебаний. Для уменьшения потерь необходимо, чтобы фидер состоял из сплошного куска кабеля. Если коаксиальная линия составлена из нескольких отрезков кабеля, то их соединение должно быть выполнено так, чтобы в местах стыков сохранялось постоянство волнового сопротивления.



Фиг. 63. Правильное соединение отрезков коаксиального кабеля.

В стандартном коаксиальном кабеле с волновым сопротивлением 75 *ом* внутренняя изоляция чаще всего выполняется из полиэтилена. При этом соотношение диаметров внешнего и внутреннего проводников равно примерно 7,2/1. Если бы внутренняя изоляция была воздушной, то за счет понижения диэлектрической проницаемости изоляции это отношение уменьшилось бы до 3,5/1. Учитывая это в местах стыков, выполненных как показано на фиг. 63, следует соответственно увеличивать диаметр внутреннего проводника.

При использовании двухпроводной линии открытого типа в полиэтиленовой или хлорвиниловой изоляции проводники в местах стыков должны спаиваться без применения скруток, причем расстояние между ними не должно увеличиваться. Для изоляции оголенных проводников желательно применять резиновую ленту. Питающая линия (фидер) не должна иметь перегибов под прямым или острым углами, изменять ее направление следует плавно, с большим радиусом кривизны.

## 5. НАСТРОЙКА АНТЕНН

Влияние внешних факторов на работу антенны не может быть учтено расчетным путем, поэтому заключительным этапом в изготовлении антенного устройства являются

его экспериментальное налаживание и настройка. Во время налаживания проверяется и подгоняется согласование антенны с фидером, замеряется мощность в антенне, исследуется диаграмма излучения.

На практике трудно достичь абсолютно точного согласования сопротивлений фидера и антенны, поэтому даже при их близости рекомендуется выбирать длину фидера кратной соответствующей четверти длины волны.

Проверка режима бегущей волны в открытой двухпроводной линии не представляет трудностей. Она заключается в измерении тока или напряжения в различных точках фидера. Постоянство тока или напряжения на протяжении всей длины линии служит признаком чисто бегущей волны. Если ток в фидере меняется от некоторой максимальной величины до минимальной, не равной нулю, то в линии наряду с бегущей волной существует волна стоячая.

При изменении тока от максимума до нуля в линии имеет место только стоячая волна. О постоянстве напряжения можно судить по свечению неоновой лампочки, передвигаемой вдоль фидера.

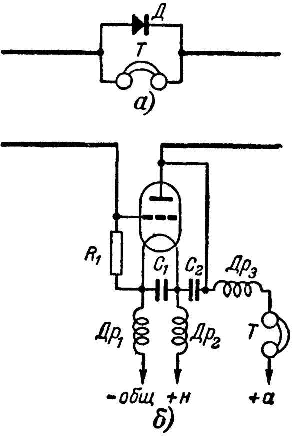
Настройка фидера произвольной длины при работе в режиме стоячей волны осуществляется по максимуму показаний приборов (высокочастотных миллиамперметров), включенных в провода фидера в пучности тока (обычно непосредственно у передатчика).

При питании антенны током мощность, отдаваемая выходной ступенью передатчика в антенну, измеряется посредством того же прибора, который используется как индикатор настройки. Зная входное сопротивление антенны $R_{вх}$ (характерное для выбранного типа антенны) и ток в линии, можно подсчитать мощность по формуле

$$P_A = I^2 R_{вх}.$$

Большинство рассмотренных нами антенных систем обладает направленным действием. На практике из-за влияния окружающих предметов характеристика излучения антенны может довольно заметно отличаться от теоретической. Точное построение диаграммы излучения осуществляется при помощи сложных приборов. В радиолюбительской практике можно ограничиться приближенным снятием характеристики направленности. Для этой цели может быть использован

простейший приемник с кристаллическим детектором, включенный в середину вибратора (фиг. 64,*а*), или ламповый приемник, схема которого дана на фиг. 64,*б*. Настройка измерительного приемника определяется длиной вибратора; она довольно тупа и допускает отклонения частоты передатчика на 5—10%. Чувствительность лампового приемника такова, что он позволяет наблюдать колебания, излучаемые антенной передатчика мощностью порядка 1 *вт* на расстоянии до 1 *км* в условиях открытой местности.



Фиг. 64. Схемы измерительных приемников.

Снятие характеристики направленности производится следующим образом. Измерительный приемник перемещается по окружности радиусом 200—300 *м* с центром в месте расположения передающей антенны. Окружность разбивается на 6—12 частей, в каждой из которых фиксируется сила приема. При этом вибратор приемника направляется в сторону передатчика (в некоторых случаях предпочтительнее поворачивать передающую антенну относительно неподвижно установленного приемника). Сила приема оценивается на слух, что, конечно, значительно снижает точность измерения. Оценка громкости производится по девятибалльной системе, принятой в практике радиолюбительской связи. Если мощность передатчика достаточно велика, вместо телефонных трубок можно использовать измерительный прибор.

Регулировка характеристики направленности антенны осуществляется путем подбора длины ее элементов и расстояний между ними (см. таблицу на 2-й стр. обложки).

---

# СОДЕРЖАНИЕ

## ВЕЛИЧИНЫ ШУМОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЛАМП

| Обозначение лампы | Тип и применение лампы | Напряжение, *в* | | | Ток, *ма* | | | Эквивалентное сопротивление шумов, *ком* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | на аноде | на экранной сетке | на управляющей сетке | анода | экранной сетки | катода | |
| 6С1Ж | Триод-усилитель . . . . . . . . . . | 180 | — | —5 | 4,5 | — | 4,5 | 1,25 |
| 6Ж4 | Триод-усилитель . . . . . . . . . . | 150 | 150 | —2 | — | — | 12,5 | 0,22 |
| 6К3 | Пентод-усилитель . . . . . . . . . | 250 | 100 | —3 | 9,2 | 2,4 | 11,6 | 10,5 |
| 6Ж8 | Пентод-усилитель . . . . . . . . . | 250 | 100 | —3 | 3 | 0,8 | 3,8 | 5,8 |
| 6К4 | Пентод-усилитель . . . . . . . . . | 250 | 125 | —1 | 11,8 | 4,4 | 16,2 | 3,3 |
| 6Ж4 | Пентод-усилитель . . . . . . . . . | 300 | 150 | —2 | 10 | 2,5 | 12,5 | 0,72 |
| 6К1Ж | Пентод-усилитель . . . . . . . . . | 250 | 100 | —3 | 5,5 | 1,8 | 7,3 | 9,4 |
| 6Ж4 | Триод-смеситель . . . . . . . . . . | 150 | 150 | —1* | — | — | 6,5 | 0,95 |
| 6С1Ж | Триод-смеситель . . . . . . . . . . | 150 | — | —1* | 2,8 | — | 2,8 | 6,1 |
| 6Ж4 | Пентод-смеситель . . . . . . . . . | 300 | 150 | —1* | 5,2 | 1,3 | 6,5 | 2,75 |
| 6К4 | Пентод-смеситель . . . . . . . . . | 250 | 125 | —1* | 3 | 1,1 | 4,1 | 13 |
| 6К1Ж | Пентод-смеситель . . . . . . . . . | 250 | 100 | —1* | 2,3 | 0,8 | 3,1 | 33 |
| 6А7 | Гептод-преобразователь . . . . . . | 250 | 100 | 0 | 3,4 | 8,5 | 11,9 | 240 |
| 6Л7 | Гептод-смеситель . . . . . . . . . | 250 | 100 | —3 | 2,4 | 7,1 | 9,5 | 255 |

* При пике колебательного периода.

*Примечание.* При использовании пентодов в качестве триодов-усилителей и триодов-смесителей экранная сетка соединяется с анодом.

Цена 2 руб.